



ISBN 978 3 900734 22 0

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

# TECHNICAL REPORT

## SOLAR SPECTRAL IRRADIANCE

**CIE 85-1989**  
**Photocopy Edition 1996**

---

UDC: 535.231.16  
535.334

Descriptor: Irradiance  
Solar spectra

## 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 fondamentales, de 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 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(01)714 31 87 0, Fax: +43(01)714 31 87 18  
e-mail: ciecb@cie.co.at  
WWW: <http://www.cie.co.at>



ISBN 978 3 900734 22 0

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

# TECHNICAL REPORT

## SOLAR SPECTRAL IRRADIANCE

**CIE 85-1989**  
**Photocopy Edition 1996**

---

UDC: 535.231.16  
535.334

Descriptor: Irradiance  
Solar spectra

This Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee 2-17 of Division 2 'Physical measurement of light and radiation' and has been approved by the Council of the Commission Internationale de l'Éclairage 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, or publication listings should be consulted regarding possible subsequent amendments.

Ce rapport technique a été préparé par le Comité Technique CIE 2-17 de la Division 2 'Mesures physiques de la lumière et des radiations' et a été approuvé par le Conseil de la Commission Internationale de l'Éclairage, pour étude et application. Le document traite des connaissances courantes et de l'expérience dans le domaine spécifique indiqué de la lumière et de l'éclairage, et il est établi pour l'usage des membres de la CIE et autres groupements intéressés. Il faut cependant noter que ce document est indicatif et non obligatoire. Pour connaître d'éventuels amendements, consulter les plus récents comptes rendus, CIE NEWS ou liste des publications de la CIE.

Dieser Technische Bericht ist vom CIE-Technischen Komitee 2-17 der Division 2 'Physikalische Messungen von Licht und Strahlung' ausgearbeitet und vom Rat der Commission Internationale de l'Éclairage 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, das CIE NEWS oder die Publikationsliste 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.

The following members of TC2-17 took part in the preparation of this Technical Report. The Committee comes under CIE Division 2:

Physical Measurement of Light and Radiation.

Editorial Committee: Kok, C J (Chairman)	South Africa
Kasten, F	Germany, Fed. Rep
Justus, C G	U S A

Other Members:	Aydinli, S	Germany, Fed. Rep.
	Kaase, H	Germany, Fed. Rep.
	Kockot, D	Germany, Fed. Rep.
	Richmond, J C	USA
	Zerlant, G A	USA

CONTENTS

	Page
1. Introduction	
2. Extra-terrestrial Solar Radiation	
2.1 Extra-terrestrial Solar Irradiance	2
2.2 The Solar Constant	3
2.3 The Spectral Distribution	4
3. Solar Radiation at the Earths Surface	
3.1 Direct, Diffuse and Global Solar Radiation	6
3.2 Spectral Irradiances based on Rigorous Radiative Transfer Models	7
3.3 Spectral Irradiances based on parameterizations	8
4. Appendices	
4.1 Tables 1 to 8	10
4.2 Figures 1 to 11	36
5. References	44

## **SOLAR SPECTRAL IRRADIANCE**

### **SUMMARY**

CIE TC2-17 was formed with the purpose of updating CIE Publication No.20 (TC-2.2) "Recommendations for the integrated irradiance and the spectral distribution of simulated solar radiation for testing purposes". The present document is the first of two, of which the second will deal with solar simulators. It gives a brief overview of parameterization methods and contains a number of tables and figures for solar spectral irradiances for typical atmosphere conditions defined by a set of meteorological parameters. The calculated data show satisfactory agreement with results obtained by direct measurement.

## **DISTRIBUTION SPECTRALE DE L'ÉCLAIREMENT SOLAIRE**

### **RÉSUMÉ**

Le but de Comité Technique CIE TC2-17 était de mettre à jour la publication CIE n<sup>o</sup>.20 (TC2.2): "Recommendations concernant l'éclairage énergétique et la répartition spectrale du rayonnement solaire en vue de sa reproduction artificielle pour des essais". Le présent document est la première de 2 parties (la deuxième partie traitera des simulateurs solaires). Ce premier document décrit brièvement les méthodes de paramétrisation et présente des tables de données relatives à l'éclairage énergétique spectral du rayonnement solaire pour certains types de conditions atmosphériques définies par un ensemble de paramètres météorologiques. L'accord entre les valeurs calculées et les valeurs mesurées est satisfaisant.

## **SOLARE SPEKTRALE BESTRAHLUNGSSTÄRKE**

### **ZUSAMMENFASSUNG**

Die CIE TC2-17 hat die Aufgabe die Publikation CIE No.20 CIE2.2 "Empfehlung über die Gesamtbestrahlungsstärke und die spektrale Verteilung künstlicher Sonnenstrahlung für Prüfzwecke" auf den neuesten Stand zu bringen. Die vorliegende Publikation ist der erste Teil von zwei Teilen, von denen der zweite Solarsimulatoren behandeln wird. Der erste Teil, der hier vorliegt, gibt einen kurzen Überblick der Methoden der Parametrisierung und enthält Tabellen und Abbildungen für solare spektrale Bestrahlungsstärkeverteilungen für typische Zustände der Atmosphäre, die durch eine Gruppe meteorologischer Parameter definiert sind. Die berechneten Werte stimmen zufriedenstellend mit den Ergebnissen direkter Messungen überein.



## 1. INTRODUCTION

It was decided to revise and update CIE Publication No.20 (TC-2.2) 1972. The main reasons for this decision could be summarized as follows.

It has become obvious that the solar spectral irradiance data on which the recommendations in the original document were based were no longer the most reliable. During the past decade a vast amount of new data has become available both through modernized measurement techniques as well as improved modelling and parameterization methods. Contrary to the situation some years ago, the stage has now been reached where results for solar spectral irradiances at ground level as measured and those obtained by reliable modeling, using extraterrestrial data as basis, show agreement to accuracies well within predictable or estimable uncertainties. It has thus become possible to calculate solar spectral irradiance levels and characteristics for any site on earth provided appropriate meteorological and atmospheric parameters are applied in reliable modeling formulas. This enables close simulation of solar irradiance characteristics for any geographical site, without the need of having to make in situ measurements.

It is also desirable that the number of spectral bands for which integrated solar irradiance levels are given, should be increased, especially in the ultraviolet region where the degradation coefficient for organic material increases nearly exponentially with a decrease in wavelength.

The aim of the report is to present data and recommend methods for calculating the integrated and spectral irradiance of the extraterrestrial and ground level solar radiation as a basis for simulation for testing purposes.

These data are required in

- \* aerospace technique for testing satellites and space vehicles in sun simulators,
- \* space biology for testing biological objects under extra-terrestrial conditions in laboratory,

- \* technology for the purpose of testing the resistance of technical objects to irradiance in laboratories,
- \* biology and medical science for irradiation of organisms in solaria under the condition found in nature.
- \* photovoltaic conversion for precise calculation of efficiencies and testing in solar simulators.

The determination of the integrated irradiance of the extraterrestrial solar radiation, which was called "Solar Constant" after Pouillet as early as 1838, was originally based upon extrapolation of measured results at ground level. These were later followed by measurements from high mountain sites, balloons, aircraft and spacecraft.

For obtaining ground level spectral irradiance data, use has been made of modelling, using extraterrestrial data as a basis and taking into account atmospheric attenuation parameters. This has been supplemented by direct spectral measurements.

The following recommendations are based upon extraterrestrial data of the World Meteorological Organization (WMO), which was mainly derived from the data of Labs and Neckel, and of modeled data for atmospheric conditions based on the parameterization method according to Justus and Paris.

## 2. EXTRATERRESTRIAL SOLAR RADIATION

### 2.1 Extraterrestrial solar irradiance

From the sun, the planet Earth receives electromagnetic as well as corpuscular radiation. The electromagnetic radiation of the sun is called solar radiation. The solar radiation incident on the upper boundary of the terrestrial atmosphere is called extraterrestrial solar radiation.

Since the earth moves around the sun in an elliptical orbit, the ecliptic, during one year, the distance from the sun to the earth and hence the irradiance of extraterrestrial solar radiation varies with time of the year. The actual value  $E_{0J}$  of extraterrestrial solar irradiance on Julian day  $J$ , ( $J = 1, \dots, 365$ ) is given by