



ISBN 978 3 900734 99 2

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

TECHNICAL REPORT

RETROREFLECTION: DEFINITION AND MEASUREMENT

CIE 54.2-2001

UDC: 535.312
535.361.2

Descriptor: Regular reflectance
Diffuse reflectance

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 39 countries and one geographical area and of 7 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 39 pays plus un territoire géographique, et de 7 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 39 Ländern und einem geographischen Gebiet und aus 7 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(01)714 31 87 0, Fax: +43(01)714 31 87 18
e-mail: ciecb@cie.co.at

WWW: <http://www.cie.co.at/cie/>



ISBN 978 3 900734 99 2

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

TECHNICAL REPORT

RETROREFLECTION: DEFINITION AND MEASUREMENT

CIE 54.2-2001

Rev. No.	Date	Revision Notes
1	Nov. 2001	Page III TC members: The correct name is Motoi Nanjo Page 25 Third line from bottom should read: $E(x_e - x_c, y_e - y_c, z_e - z_c)$ observation

UDC: 535.312
535.361.2

Descriptor: Regular reflectance
Diffuse reflectance

This Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee 2-36 of Division 2 "Physical Measurement of Light and Radiation" 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 préparé par le Comité Technique CIE 2-36 de la Division 2 "Mesures physiques de la lumière et des radiations" et a été approuvé par le Bureau de la Commission Internationale de l'Eclairage pour étude et application. Le document traite des connaissances courantes et de l'expérience dans le domaine spécifique décrit de la lumière et de l'éclairage; il est destiné à être utilisé par les membres de la CIE et tous les intéressés. Il faut cependant noter que ce document est indicatif et non obligatoire. Les derniers comptes rendus de la CIE ou du CIE NEWS devront être consultés pour connaître d'éventuels amendements.

Dieser Technische Bericht ist vom CIE Technischen Komitee 2-36 der Division 2 "Physikalische Messungen von Licht und Strahlung" 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.

The following members of TC 2-36, Retroreflection: Definition and Measurement Recommendations, Revision of CIE 54-1982 took part in the preparation of this technical report. The committee comes under Division 2 "Physical Measurement of Light and Radiation". This present publication replaces CIE 54-1982 "Retroreflection: Definition and Measurement".

John Arens	U.S.A.
Dennis Couzin	U.S.A.
Peter Dibbern	Germany
S. Allen Heenan	U.S.A. (deceased)
Roger Hubert	France
Norbert Johnson	U.S.A.
Wolfgang Kramp	Germany
Motoi Nanjo	Japan
David H. Price	United Kingdom
Justin Rennilson	U.S.A. (Chairman)
Hans J. Schmidt-Clausen	Germany
Kai Sørenson	Denmark
Heinz Terstiege	Germany (deceased)
Gösta Werner	Sweden

TABLE OF CONTENTS

SUMMARY	VII
RESUME	VII
ZUSAMMENFASSUNG.....	VIII
FOREWORD	1
1. OVERVIEW	1
2. GENERAL DEFINITIONS.....	1
2.1 Retroreflection	1
2.2 Retroreflectance	1
2.3 Retroreflector.....	2
2.4 Retroreflective Element.....	2
2.5 Retroreflective Material	2
2.6 Retroreflective Device	2
2.7 Retroreflective Sheeting.....	2
3. GEOMETRIC DEFINITIONS.....	2
3.1 Retroreflector Point of Reference.....	2
3.2 Source Point of Reference	2
3.3 Observer Point of Reference.....	2
3.4 Retroreflector Axis.....	2
3.5 Illumination Axis	3
3.6 Observation Axis	3
3.7 Datum Mark.....	3
3.8 Datum Axis	3
3.9 First Axis.....	3
3.10 Second Axis	3
3.11 Observation Half-Plane	3
3.12 Entrance Half-Plane	3
3.13 Datum Half-Plane	3

3.14	Observation Angle (Symbol α)	3
3.15	Viewing Angle (symbol ν)	3
3.16	Observation-Elevation Angle (symbol a)	4
3.17	Entrance Angle (symbol β)	4
3.18	Entrance Angle Component, (symbol β_1)	4
3.19	Entrance Angle Component, (symbol β_2)	4
3.20	Illumination Elevation Angle (symbol e)	4
3.21	Orientation Angle (symbol ω_s)	4
3.22	Presentation Angle (symbol γ)	5
3.23	Rotation Angle (symbol ε)	5
3.24	Rho Angle (symbol ρ)	5
3.25	RM First Azimuthal Angle (symbol b)	5
3.26	RM Second Azimuthal Angle (symbol d)	5
3.27	Observation Distance, (symbol d)	5
3.28	Illumination Distance, (symbol s)	5
3.29	Angle Definition Conventions	5
3.30	Special Conditions 1	6
3.31	Special Conditions 2	6
3.32	Special Conditions 3	6
3.33	Aperture Angles	6
3.33.1	Retroreflectometer Aperture Angles	6
3.33.2	Retroreflector Aperture Surface	6
3.33.3	Retroreflector (or Specimen) Aperture	6
3.33.4	Circular Aperture	6
3.33.5	Annular Aperture	6
3.33.6	Rectangular Aperture	9
3.33.7	Source Aperture	9
3.33.8	Observer Aperture	9
3.33.9	Retroreflector Element Aperture	9
4.	GEOMETRICAL SYSTEMS	9
4.1	Retroreflector Geometry	9
4.2	Illumination Geometry	9
4.3	Observation Geometry	9
4.4	The CIE Goniometer System ($\alpha, \beta_1, \beta_2, \varepsilon$)	10
4.5	The Intrinsic System ($\alpha, \beta, \gamma, \omega_s$)	10
4.6	The Application System ($\alpha, \beta, \varepsilon, \omega_s$)	10
4.7	The Road Marking (RM) System (a, b, e, d)	13
5.	PHOTOMETRIC DEFINITIONS	13
5.1	Spectral Coefficient of Retroreflected Radiant Intensity (symbol $R_i(\lambda)$)	13
5.2	Spectral Coefficient of Retroreflection (symbol $R_A(\lambda)$)	13
5.3	Spectral Coefficient of Retroreflected Radiance (symbol $R_L(\lambda)$)	14
5.4	Coefficient of Luminous Intensity (symbol R_i)	14
5.5	Coefficient of Retroreflection (symbol, R_A)	14
5.6	Coefficient of Retroreflected Luminance (symbol, R_L)	14
5.7	Coefficient of Line Retroreflection (of a Reflecting Stripe) (symbol R_M)	15
5.8	Fractional Retroreflectance, (symbol R_T)	15
5.9	Retroreflectance Factor (symbol R_F)	15
5.10	Ideal Uniform Perfect Reflecting Diffuser	16
5.11	Observation Angle Functions	16
5.12	Entrance Angle Functions	16
5.13	Minimum Entrance Angle Functions	16
6.	PHOTOMETRIC CALIBRATION TECHNIQUES AND MEASUREMENT UNCERTAINTIES	16
6.1	Ratio Method	17
6.2	Direct Luminous Intensity Method	17
6.3	Direct Luminance Method	17
6.3.1	A Variation on the Direct Luminance Measurement	17
6.4	Substitution Method	17
6.5	Substitution Method using Mirrors	18

6.6 Computational Techniques	18
6.6.1 Ratio Method	18
6.6.2 Substitution Method	19
6.6.3 Direct Luminous Intensity Method.....	19
6.6.4 Direct Luminance Method	19
6.7 Calibrated Reference Standards (Traceability).....	20
6.8 Sources of Uncertainty	20
6.8.1 Geometrical Errors of Placement.....	20
6.8.2 Source and Photometer Head Apertures (Geometrical Errors of Extent)	20
6.8.3 Linearity and Noise	21
6.8.4 Realization of the CIE Standard Illuminant A (2856 K) and the CIE Photopic Responsivity for the Source and the Photometer Head	21
6.8.5 Transfer Specimen.....	21
6.8.6 Material	21
6.9 Apparatus and Tolerances	21
6.9.1 Apparatus.....	21
6.9.2 Tolerances	22
6.10 Recommended Aperture Sizes for Reference Comparison between Laboratories.....	23
6.10.1 Standard Circular Apertures	23
6.10.2 Standard Annular Apertures	24
6.10.3 Standard Apertures for Road Marking Materials	24
7. GEOMETRY OF MEASUREMENT	25
7.1 Introduction.....	25
7.2 Vector Notation for Retroreflection.....	25
7.2.1 CIE Goniometer System Geometry	26
7.2.2 Intrinsic System Geometry.....	26
7.2.3 Application System Geometry.....	29
7.2.4 Road Marking System Geometry.....	29
7.3 Examples.....	30
7.3.1 Application to Available Luminance	34
8. COLORIMETRY OF RETROREFLECTORS	34
8.1 General.....	34
8.2 Measurement Techniques.....	34
8.2.1 Daytime Color Measurement	35
8.2.2 Nighttime Color Measurement (Retroreflector Color)	35
8.3 Measurement Precautions and Uncertainties	37
8.3.1 Spectrophotometers and Spectroradiometers.....	37
8.3.2 Uncertainties	37
8.4 Recommended Geometry for the Colorimetry of Retroreflectors	37
8.4.1 Daytime	37
8.4.2 Retroreflected Color	37
9. IN-SITU MEASUREMENTS	37
9.1 Portable Hand-Operated Instruments	38
9.1.1 Sheeting Material Instruments	38
9.1.2 Retroreflective Raised Pavement Markings (Road Studs) or Delineators.....	38
9.1.3 Road Marking Materials	38
9.1.4 Flexible Material (Personal Safety).....	39
9.2 Mobile Instruments	39
9.2.1 Road Marking Instruments.....	39
9.2.2 Traffic Sign Instruments	39
9.3 Instrument Specification Recommendations.....	39
10. COMPUTER DATA INTERCHANGE	40
10.1 General.....	40
10.2 Management of Data in a Computer System.....	40
10.3 Recommended Data and Format for Photometric and Colorimetric Measurements of Retroreflectors	40
10.3.1 Data Interchanged within a File	40
10.3.2 Recommended Data Format for Computer Interchange	41
10.4 Processing of the Interchanged Data.....	41

11. REFERENCES	42
12. BIBLIOGRAPHY	42
APPENDIX A EQUATIONS FOR TRANSFORMATION BETWEEN THE INTRINSIC, APPLICATIONS, CIE AND RM SYSTEMS.....	43
APPENDIX B LIST OF KEYWORDS	44
APPENDIX C DATA FORMAT EXAMPLE.....	47
APPENDIX D APERTURES.....	47

RETROREFLECTION: DEFINITION AND MEASUREMENT

SUMMARY

The report is divided into nine main sections with the following considered in detail:

- Recommended terminology, including general definitions and units based on spectral quantities which are needed for characterizing the performance of retroreflectors of all types.
- Additional geometric definitions and systems beside the CIE angular reference system defined in the original Publication CIE 54 - 1982. These new systems are needed largely because of new microprismatic retroreflecting materials developed since 1982 and the emphasis on the driver's requirements at night. The road marking geometry is also included for the first time. Complete transfer equations are provided in the appendix to allow ease in converting angles between the respective systems.
- The measurement of the photometric quantities section covers all techniques currently in use together with the necessary equations, reference standards and sources of uncertainty. The tolerances and effects of aperture errors are considered in detail.
- A section is included which relates the angular characteristics of retroreflectors in vector notation with major emphasis on the geometry of the driving scenario. Examples of the angular relationships as a function of distance in the various geometrical systems are given for different traffic control devices, vehicles and road geometries.
- The colorimetry of retroreflectors includes recent measurement techniques used for establishing the spectral quantities of retroreflection together with a recommended geometry of measurement for colorimetry under daylight and nighttime conditions.
- A section is devoted to the use of portable and mobile instrumentation for the measurement of retroreflectors in the field together with recommended information on the instruments to be included in their data description.
- A section dealing with recommended formats for the computer data interchange of retroreflective measurements.

RETROREFLEXION: DEFINITION ET MESURE

RESUME

Le rapport est divisé en neuf paragraphes principaux avec les détails suivants:

- La terminologie recommandée, comprenant les définitions générales et les unités basées sur les grandeurs spectrales nécessaires pour caractériser les performances des rétroreflecteurs de tous types.
- Des définitions géométriques et des nouveaux systèmes en plus du système de référence angulaire défini dans la publication CIE 54 - 1982 d'origine. Ces nouveaux systèmes sont nécessaires à cause du développement depuis 1982 de nouveaux matériaux rétrofléchissants microprismatiques et de l'augmentation des besoins des conducteurs pendant la nuit. La géométrie des marquages routiers est également prise en compte pour la première fois. Des formules sont données en annexe pour faciliter la conversion des angles entre les différents systèmes.
- Le paragraphe sur la mesure des grandeurs photométriques inclut toutes les techniques actuellement utilisées ainsi que les formules nécessaires, les étalons de référence et les sources d'erreur. Les tolérances et l'influence des erreurs sur les angles d'ouverture sont examinées en détail.
- Un paragraphe décrit les caractéristiques angulaires des rétroreflecteurs en notation vectorielle en s'appuyant sur les conditions géométriques de conduite. Des exemples de relations angulaires en fonction de la distance dans les différents systèmes de référence angulaires sont donnés pour différents systèmes de signalisation, différents véhicules et géométries routières.

- Le paragraphe sur la colorimétrie des rétroreflecteurs inclut les récentes techniques de mesures pour déterminer les grandeurs spectrales de rétroreflexion ainsi qu'une géométrie de mesure recommandée pour la colorimétrie dans les conditions diurnes et nocturnes.
- Un paragraphe est consacré à l'utilisation d'appareils portables et mobiles pour la mesure des rétroreflecteurs sur site ainsi que des recommandations sur les informations que devraient comporter les notices des instruments.
- Un paragraphe traite des formats recommandés pour l'échange informatique des données de mesures de rétroreflexion.

RETROREFLEXION: DEFINITION UND MESSUNG

ZUSAMMENFASSUNG

Der Bericht ist in neun Hauptabschnitte eingeteilt, in denen folgende Themen ausführlich behandelt werden:

- Vorgeschlagene Terminologie, diese beinhaltet die für die Kennzeichnung der Leistung von Retroreflektoren aller Typen benötigten allgemeinen Definitionen und Einheiten, die auf spektralen Größen aufbauen.
- Zusätzliche geometrische Definitionen und Systeme neben dem in der Original-Publikation CIE 54 – 1982 empfohlenen CIE-Winkel-Bezugssystem. Diese neuen Systeme werden wegen der seit 1982 neuentwickelten mikroprismatischen retroreflektierenden Materialien und wegen der Berücksichtigung der Anforderungen an den Fahrer bei Nacht benötigt. Zum ersten Mal ist auch die Geometrie der Straßenmarkierungen eingeschlossen. Komplette Umrechnungsgleichungen sind im Anhang aufgeführt und erlauben eine einfache Umrechnung zwischen den Winkeln der einzelnen Systeme.
- Der Abschnitt über die Messung photometrischer Größen schließt die derzeit gebräuchlichen Techniken zusammen mit den notwendigen Gleichungen, Referenz-Standards und Quellen der Meßunsicherheit ein. Toleranzen und Fehler durch Einflüsse der Aperturen sind im Einzelnen berücksichtigt.
- Ein Abschnitt ist eingefügt, der sich auf die Winkeleigenschaften in Vektordarstellung mit Hauptaugenmerk auf die Geometrie der Fahrsituation bezieht. Beispiele der Winkelbeziehungen als Funktion der Entfernung sind in den verschiedenen geometrischen Systemen für verschiedene Verkehrskontrolleinrichtungen, Fahrzeuge und Straßengeometrien gegeben.
- Die Farbmetrik von Retroreflektoren beinhaltet neue Meßtechniken zur Aufstellung der spektralen Größen der Retroreflexion zusammen mit einer empfohlenen Meßgeometrie für die Farbmessung unter Tages- und Nachtbedingungen.
- Ein Abschnitt ist der Benutzung tragbarer Instrumente und mobiler Meßeinrichtungen für Feldmessungen der Retroreflexion gewidmet. Es wird empfohlen, den Datenblättern eine Information über die Instrumente beizufügen.
- Ein Abschnitt ist den empfohlenen Formaten für den elektronischen Datenaustausch bei Retroreflexionsmessungen gewidmet.

FOREWORD

The first CIE document addressing the phenomena of retroreflection was published in 1982. The Publication CIE 54 – 1982 defined a system for describing retroreflection and important terms were defined with some examples of test methods and measurement parameters. Concentration on the report was limited primarily to retroreflective sheeting materials used for traffic signs and delineators of the macroprismatic type. Since 1982 a great deal of progress has taken place with regard to new materials and emphasis on the needs of the driver. This revision of publication 54 significantly expands the context of the 1982 document by including all types of retroreflectors finding application in transportation, introduces new definitions, new geometric systems and extensive instrumentation capabilities. This report does not recommend luminance values of retroreflectors needed by the driver, but presents all the necessary tools to enable the transportation engineer to define the geometry required to insure the driver's safety at night. Minimum values of luminance needed by the driver must consider the vehicle, the illumination parameters and the human visual system before recommended values can be established. This is beyond the terms of reference of this committee and must be addressed by other technical committees. It is hoped that this report will be a valuable assistance to the transportation engineer and will enable the engineer to establish performance goals for the large variety of traffic control situations which exist.

1. OVERVIEW

This report is divided into nine main sections. These begin with chapter 2 which is concerned with general definitions of retroreflection, while chapter 3 defines geometrical terms. Chapter 4 combines their collection into four geometric systems applicable for different elements of the retroreflection phenomena. Chapter 5 defines the photometric terminology as did the original publication 54, but defines the photometric terms with reference to spectroradiometric concepts as is the current international standards procedure. The corresponding laboratory calibration and measurement techniques are described in the next section, chapter 6, together with basic instrument requirements and traceability to national metrology laboratories. To relate the driver's geometry to the four systems, vector notation and a series of typical examples are given in chapter 7. This approach will aid the transportation community in accessing the necessary discrete angles to assure procurement compliance and the field service life of retroreflective devices and materials. An important section in the original publication 54, dealing with the colorimetry of retroreflectors, is expanded in chapter 8 to include new instrumentation presently available and to recommend standard test geometries for both daytime and nighttime measurements. A new section, chapter 9, describes general field instruments available for in-situ measurements of retroreflectors. Included in this section is a guide for manufacturers to use in their specifications, listing important parameters of the instruments which can be a part of the data sheet. Lastly, chapter 10 addresses the computer format for retroreflectance data in order to allow measurement results to be exchanged world-wide. References of the important CIE publications referred to in the report are included together with a bibliography of the most important additional information. Four appendices complete the report with all the transformation equations between the four systems with examples, a list of keywords, data format examples and a treatise on aperture synthesis.

It is hoped that this report will be a valuable assistance to the transportation engineer and will enable that engineer to establish performance goals for the large variety of traffic control situations which exist.

2. GENERAL DEFINITIONS

2.1 Retroreflection

Reflection in which the reflected rays are preferentially returned in directions close to the opposite of the direction of the incident rays, this property being maintained over wide variations in the direction of the incident rays.

2.2 Retroreflectance

The ratio of the reflected radiant or luminous flux to the incident flux within the narrow confines of incident and reflected geometrical conditions.