

Aus der ornithologischen Abteilung des Museum A. Koenig, Bonn
Prof. Dr. G. Niethammer

Die Bestimmung der Helmholtzkoordinaten von Feder- und Haarfarben im ICI (=IBK=CIE) System

von ERNST KNIPRATH

Herrn Prof. Dr. A. von Jordans zum 75. Geburtstag gewidmet

Moderne Farbmeßgeräte¹⁾ erlauben eine sehr einfache und schnelle Bestimmung der Koordinaten einer Farbe in einem dreidimensionalen Farbraum (zur genauen Darstellung des Farbraumes des ICI-Systems s. Bouma 1951, Lubnow und Niethammer 1963, Kniprath 1967). Durch Messung der jeweiligen Farbfläche mit drei verschiedenen Farbmeßfiltern erhält man drei Remissionswerte (RX,RY,RZ). Aus diesen ergeben sich durch eine einfache Umrechnung die Raumkoordinaten der gemessenen Farbe (über das Verfahren der Auswahlkoordinaten s. Lubnow und Niethammer 1963 und Dyck 1966). Da diese Koordinaten jedoch keinen Eindruck davon vermitteln, um welche Farbe es sich gehandelt hat, ist meist eine Umrechnung in die als „Helmholtzkoordinaten“ bekannten Farbwerte: Helligkeit (= Leuchtdichte = B), Sättigung (= Farbdichte = p) und Wellenlänge (= λ) wünschenswert. (Gall und Valet beschrieben 1962 die Anfertigung von Nomogrammen, mit deren Hilfe Wellenlänge und Farbdichte in engeren Bereichen schnell und einfach graphisch ermittelt werden können.)

Die zur Umrechnung notwendigen Formeln wurden für den Fall, daß mit einer Lichtquelle mit der Mittelpunktswalenz $x = 1/3$ und $y = 1/3$ gearbeitet wird, mitgeteilt (Kniprath 1967). Da jedoch in den meisten Farbmeßgeräten die Lichtart C mit der Mittelpunktswalenz $x = .3101$ und $y = .3163$ verwendet wird seien hier die entsprechenden Formeln genannt:

Für die Lichtart C gilt (nach Gall und Valet 1962):

- (1) $X = .782 \text{ RX} + .198 \text{ RZ}$
- (2) $Y = 1.000 \text{ RY}$
- (3) $Z = 1.181 \text{ RZ}$

Aus Y erhält man B durch Multiplikation mit einem Faktor, der nur geringfügig von 1 verschieden ist. Diese Berechnung ist nicht notwendig, da Y ein hinreichend genaues Maß für B ist. Für die Helligkeit wird in der Literatur stets Y angegeben. Zu Ermittlung von λ und p wird der Farbpunkt in die Basisebene des Farbraumes projiziert. Über die Gleichungen

- (4) $x = X/(X+Y+Z)$
- (5) $y = Y/(X+Y+Z)$
- (6) $z = Z/(X+Y+Z)$

¹⁾ z. B. das ElRePho der Fa. Zeiss, das im Museum A. Koenig benutzt wird.

erhält man die Eichreizanteile (= trichromatische Koordinaten) x , y , z des Farbpunktes. Die Berechnung von z erübrigt sich, da ein Punkt in der Ebene bereits durch zwei Koordinaten hinreichend benannt ist. Durch einen der beiden Quotienten

$$(7a) \quad Q = (x - .3101) / (y - .3163)$$

$$(7b) \quad Q = (y - .3163) / (x - .3101)$$

(der sich ergebende Wert muß der Bedingung $0 < |Q| < 1$ genügen) wird die Steigung (oder deren Kehrwert) der durch den Farbpunkt und den Weißpunkt der Farbebene laufenden Geraden bestimmt. Der Schnittpunkt dieser Geraden mit dem Spektralfarbenzug oder der Purpurlinie gibt die gesuchte farbtongleiche Wellenlänge an. Da der genannte Quotient für jede Wellenlänge charakteristisch ist, kann diese nach jenem aus einer geeigneten Tabelle entnommen werden (z. B. Judd 1933 oder die folgende Tabelle). Wurde mit Gleichung **7a** (**7b**) gerechnet, so findet sich der erhaltene Wert in Spalte 2 (3) der nachfolgenden Tabelle. Innerhalb dieser Spalte kommt jeder Wert Q zweimal vor: Die zu jeder Farbe gehörende Komplementärfarbe liegt auf derselben Geraden durch den Weißpunkt wie diese, hat also auch denselben Quotienten. Die Entscheidung, welche der beiden möglichen Wellenlängen die gesuchte ist, wird durch folgende Bedingungen bestimmt: A) Der aus (4) errechnete Wert muß zwischen .3101 und der x -Koordinate der Spektralfarbe (in Spalte 4 der nachfolgenden Tabelle) liegen, oder mit dieser identisch sein; gleichzeitig muß B) der aus (5) erhaltene Wert zwischen .3163 und dem y_s der Spektralfarbe (Spalte 7), oder gleich diesem sein.

Es bleibt die Ermittlung der Sättigung. Dazu stehen drei Quotienten zur Auswahl:

$$(8a) \quad p = y_s (y - .3163) / (y_s - .3163) / y$$

$$(8b) \quad p = y_s (x - .3101) / (x_s - .3101) / y$$

$$(8c) \quad p = y_s (z - .3736) / (z_s - .3736) / y$$

Dabei sind x_s , y_s und z_s die Koordinaten der ermittelten spektralen Wellenlänge (Tabelle Spalte 4 und 7). In den meisten Fällen ist **(8a)** geeignet. Liegt jedoch y_s sehr nahe bei .3163, so nimmt man besser **(8b)**, da bei Verwendung von **(8a)** Zähler und Nenner sehr klein und nicht genau bekannt wären: **(8b)** erlaubt dann eine exaktere Bestimmung von p .

Die zitierte Tabelle von Judd ist schwer zugänglich und daher in der biologischen Literatur bisher offenbar nicht erwähnt. Zudem enthält sie nur den Bereich von 380—780 μm , nicht jedoch die Purpurfarben (= Mischfarben aus Blau und Rot). Um beide Mängel zu beseitigen, wird die durch die Werte des Purpurbereichs ergänzte Tabelle vorgelegt. Weiterhin sind in sie in Spalte 5 und 8 die zur Berechnung von p notwendigen Differenzen $x_s - .3101$ und $y_s - .3163$ eingefügt. Alle Daten des Purpurbereichs sowie die Spalten 5 und 8 insgesamt wurden auf der IBM 7090 im Mathematischen Institut

der Universität Bonn errechnet. Als Purpurgerade (= Linie der reinen Purpurfarben) wurde die Gerade durch den Farbpunkt der beiden Extremfarben des sichtbaren Spektrums $380\text{ }\mu\text{m}$ und $780\text{ }\mu\text{m}$ mit den Koordinaten $x = .17410$ und $y = .00500$ bzw. $x = .73467$ und $y = .26533$ angenommen.

In einer Zeile der nachfolgenden Tabelle sind somit die zu jeder Wellenlänge gehörenden Quotienten (aus Gleichung (7a) und (7b)) und die zur Ermittlung des Sättigungswertes innerhalb jeder Wellenlänge notwendigen Konstanten enthalten.

Da das Transformieren der Remissionswerte in die Helmholtzkoordinaten bei einer größeren Zahl von Messungen auch bei Benutzung einer guten Tischrechenmaschine sehr viel Zeit in Anspruch nimmt, wurde das ganze Verfahren für Elektronenrechner programmiert (Fortran II). Das Programm befindet sich beim Verfasser.

Das beschriebene Verfahren birgt für den zoologischen Systematiker einen großen Vorteil: Wurden bisher auf den Etiketten der Sammlungsexemplare nur Längenmaße des frischtoten Tieres angegeben, so ist es jetzt möglich, dazu noch Farbwerte (entweder die Remissionswerte oder die bereits transformierten Daten) festzuhalten. Diese sind dann jederzeit für eine systematische Bearbeitung greifbar. Es schadet dann nichts mehr, wenn sich die Farbe eines Balges nach langer Lagerung ändert.

Herrn Dipl. Phys. H. Loof, Zeisswerk Oberkochen, danke ich für die freundliche Überlassung der Tabelle von Judd und wertvolle Hinweise auf weitere Literatur. Danken möchte ich auch den Herren Dipl. Phys. H. Martin und E. Vorwerk, Mathematisches Institut der Universität Bonn, die mir bei der Erstellung des Fortranprogrammes halfen.

Summary

This paper describes an important method for a systematic zoological and ecological investigation of the dependence of feather and hair colours on environmental factors.

The application of modern electric remission photometers makes it possible to obtain an exact numerical value — by means of a digital three figure system — of the colour of a bird or mammal under investigation and thus to be independent of discolouration which may occur during the subsequent time.

It is shown for illuminant C, which is normally used in photometers, how to transform the remission values RX, RY, RZ into the more perceptible Helmholtz coordinates B (brightness, as represented by Y), p (saturation = chroma), and λ (dominant wave length = hue). Based on a system as published by Judd in 1933, all constants required for the transformation of the remission values into Helmholtz coordinates are summarized in tables which cover — in steps of one μm — the visible range of the spectrum (380 to

780 μm) and the purple range (-492.3691 to $-567.0468 \mu\text{m}$) respectively. The method described makes full use of the conventions of the International Council of Illumination (ICI) and thus renders itself suitable to uniform the results of colour investigation and to make them comparable with each other.

As manual or even mechanical transformation of the data of more than some ten individuals takes too much time, the whole procedure was programmed for the IBM 7090 computer in Fortran II. The author will be glad to supply with any additional information on the program on request.

Schrifttum

- Bouma, P. J. (1951): Farbe und Farbwahrnehmung. — N. V. Philips Gloeilampenfabrieken Eindhoven (Holland).
- Dyck, J. (1966): Determination of Plumage Colours, Feather Pigments and Structures by Means of Reflection Spectrophotometry. — Dansk Orn. For. Tidsskr. 60, p. 49—76.
- Gall, L., und G. Valet (1962): Nomographische Rechenhilfsmittel bei der Auswertung von Farbmessungen an Körperfarben. — Farbe und Lack 68, p. 374—380.
- Judd (1933): The 1931 I. C. I. Standard Observer and Coordinate System for Colorimetry. — JOSA 23, p. 369—372.
- Kniprath, E. (1967): Untersuchungen zur Variation der Rückenfärbung der beiden Meisen *Parus montanus* und *Parus palustris*. — J. Orn. 108, p. 1—46.
- Lubnow, E., und G. Niethammer (1963): Zur Methodik von Farbmessungen für taxonomische Untersuchungen. — Verh. Deutschen Zool. Ges. München, p. 646—663.

Tabelle zur Umrechnung von Reflexionswerten in Helmholtzkoordinaten für
Lichtart C (Mittelpunktswalenz $x = .3101$; $y = .3163$)

Wellen- länge	X — .3101	Y — .3163	X_s	$X_s - .3101$	Wellen- länge	Y_s	$Y_s - .3163$
	Y — .3163	X — .3101					
380.	.43688		.17410	— .13600	380.	.00500	— .31130
381.	.43693		.17408	— .13602	381.	.00499	— .31131
382.	.43698		.17406	— .13604	382.	.00498	— .31132
383.	.43706		.17403	— .13607	383.	.00497	— .31133
384.	.43714		.17400	— .13610	384.	.00496	— .31134
385.	.43719		.17398	— .13612	385.	.00495	— .31135
386.	.43731		.17394	— .13616	386.	.00494	— .31136
387.	.43739		.17391	— .13619	387.	.00493	— .31137
388.	.43747		.17388	— .13622	388.	.00492	— .31138
389.	.43759		.17384	— .13626	389.	.00491	— .31139
390.	.43770		.17380	— .13630	390.	.00490	— .31140
391.	.43782		.17376	— .13634	391.	.00489	— .31141
392.	.43793		.17372	— .13638	392.	.00488	— .31142
393.	.43808		.17367	— .13643	393.	.00487	— .31143
394.	.43822		.17362	— .13648	394.	.00486	— .31144
395.	.43832		.17358	— .13652	395.	.00484	— .31146
396.	.43850		.17352	— .13658	396.	.00483	— .31147
397.	.43865		.17347	— .13663	397.	.00482	— .31148
398.	.43879		.17342	— .13668	398.	.00481	— .31149
399.	.43899		.17336	— .13674	399.	.00481	— .31149
400.	.43917		.17330	— .13680	400.	.00480	— .31150
401.	.43936		.17324	— .13686	401.	.00480	— .31150
402.	.43954		.17318	— .13692	402.	.00479	— .31151
403.	.43971		.17312	— .13698	403.	.00478	— .31152
404.	.43991		.17306	— .13704	404.	.00478	— .31152
405.	.44013		.17299	— .13711	405.	.00478	— .31152
406.	.44031		.17293	— .13717	406.	.00477	— .31153
407.	.44057		.17285	— .13725	407.	.00477	— .31153
408.	.44081		.17278	— .13732	408.	.00478	— .31152
409.	.44111		.17269	— .13741	409.	.00479	— .31151
410.	.44140		.17260	— .13750	410.	.00480	— .31150
411.	.44170		.17250	— .13760	411.	.00480	— .31150
412.	.44210		.17240	— .13770	412.	.00480	— .31150
413.	.44240		.17230	— .13780	413.	.00480	— .31150
414.	.44270		.17220	— .13790	414.	.00480	— .31150
415.	.44300		.17210	— .13800	415.	.00480	— .31150
416.	.44350		.17200	— .13810	416.	.00490	— .31140
417.	.44380		.17190	— .13820	417.	.00490	— .31140
418.	.44460		.17170	— .13840	418.	.00500	— .31130
419.	.44490		.17160	— .13850	419.	.00500	— .31130
420.	.44570		.17140	— .13870	420.	.00510	— .31120
421.	.44650		.17120	— .13890	421.	.00520	— .31110
422.	.44730		.17100	— .13910	422.	.00530	— .31100
423.	.44820		.17080	— .13930	423.	.00550	— .31080
424.	.44900		.17060	— .13950	424.	.00560	— .31070
425.	.45020		.17030	— .13980	425.	.00580	— .31050
426.	.45150		.17000	— .14010	426.	.00600	— .31030
427.	.45240		.16980	— .14030	427.	.00620	— .31010
428.	.45370		.16950	— .14060	428.	.00640	— .30990
429.	.45500		.16920	— .14090	429.	.00660	— .30970
430.	.45640		.16890	— .14120	430.	.00690	— .30940
431.	.45810		.16850	— .14160	431.	.00720	— .30910
432.	.45980		.16810	— .14200	432.	.00750	— .30880
433.	.46130		.16780	— .14230	433.	.00780	— .30850

Wellen- länge	X — .3101 Y — .3163	Y — .3163 X — .3101	X _s	X _s — .3101	Wellen- länge	Y _s	Y _s — .3163
433.	.46130		.16780	— .14230	433.	.00780	— .30850
434.	.46350		.16730	— .14280	434.	.00820	— .30810
435.	.46540		.16690	— .14320	435.	.00860	— .30770
436.	.46760		.16640	— .14370	436.	.00900	— .30730
437.	.46950		.16600	— .14410	437.	.00940	— .30690
438.	.47190		.16550	— .14460	438.	.00990	— .30640
439.	.47420		.16500	— .14510	439.	.01030	— .30600
440.	.47710		.16440	— .14570	440.	.01090	— .30540
441.	.47980		.16380	— .14630	441.	.01140	— .30490
442.	.48270		.16320	— .14690	442.	.01200	— .30430
443.	.48550		.16260	— .14750	443.	.01250	— .30380
444.	.48880		.16190	— .14820	444.	.01310	— .30320
445.	.49260		.16110	— .14900	445.	.01380	— .30250
446.	.49640		.16030	— .14980	446.	.01450	— .30180
447.	.50020		.15950	— .15060	447.	.01520	— .30110
448.	.50450		.15860	— .15150	448.	.01600	— .30030
449.	.50940		.15760	— .15250	449.	.01690	— .29940
450.	.51410		.15660	— .15350	450.	.01770	— .29860
451.	.51900		.15560	— .15450	451.	.01860	— .29770
452.	.52440		.15450	— .15560	452.	.01960	— .29670
453.	.52970		.15340	— .15670	453.	.02050	— .29580
454.	.53580		.15220	— .15790	454.	.02160	— .29470
455.	.54190		.15100	— .15910	455.	.02270	— .29360
456.	.54860		.14970	— .16040	456.	.02390	— .29240
457.	.55550		.14840	— .16170	457.	.02520	— .29110
458.	.56330		.14690	— .16320	458.	.02660	— .28970
459.	.57110		.14550	— .16460	459.	.02810	— .28820
460.	.57960		.14400	— .16610	460.	.02970	— .28660
461.	.58810		.14250	— .16760	461.	.03130	— .28500
462.	.59750		.14090	— .16920	462.	.03310	— .28320
463.	.60780		.13920	— .17090	463.	.03510	— .28120
464.	.61920		.13740	— .17270	464.	.03740	— .27890
465.	.63170		.13550	— .17460	465.	.03990	— .27640
466.	.64550		.13350	— .17660	466.	.04270	— .27360
467.	.66120		.13130	— .17880	467.	.04590	— .27040
468.	.67880		.12900	— .18110	468.	.04950	— .26680
469.	.69760		.12670	— .18340	469.	.05340	— .26290
470.	.71950		.12410	— .18600	470.	.05780	— .25850
471.	.74340		.12150	— .18860	471.	.06260	— .25370
472.	.77020		.11870	— .19140	472.	.06780	— .24850
473.	.80020		.11580	— .19430	473.	.07350	— .24280
474.	.83420		.11280	— .19730	474.	.07980	— .23650
475.	.87360		.10960	— .20050	475.	.08680	— .22950
476.	.91930		.10620	— .20390	476.	.09450	— .22180
477.	.97190	1.02890	.10270	— .20740	477.	.10290	— .21340
478.	1.03280	.96820	.09910	— .21100	478.	.11200	— .20430
479.		.90500	.09530	— .21480	479.	.12190	— .19440
480.		.83910	.09130	— .21880	480.	.13270	— .18360
481.		.77050	.08700	— .22310	481.	.14440	— .17190
482.		.70020	.08260	— .22750	482.	.15700	— .15930
483.		.62770	.07800	— .23210	483.	.17060	— .14570
484.		.55430	.07340	— .23670	484.	.18510	— .13120
485.		.47890	.06870	— .24140	485.	.20070	— .11560
486.		.40150	.06400	— .24610	486.	.21750	— .09880
487.		.32270	.05940	— .25070	487.	.23540	— .08090
488.		.24280	.05470	— .25540	488.	.25430	— .06200
489.		.16190	.05000	— .26010	489.	.27420	— .04210
490.		.08050	.04540	— .26470	490.	.29500	— .02130

Wellen- länge	$\frac{X - .3101}{Y - .3163}$	$\frac{Y - .3163}{X - .3101}$	X_s	$X_s - .3101$	Wellen- länge	Y_s	$Y_s - .3163$
490.		.08050	.04540	-.26470	490.	.29500	-.02130
491.		-.00260	.04070	-.26940	491.	.31700	.00070
492.		-.08690	.03610	-.27400	492.	.34010	.02380
493.		-.17060	.03170	-.27840	493.	.36380	.04750
494.		-.25370	.02750	-.28260	494.	.38800	.07170
495.		-.33640	.02350	-.28660	495.	.41270	.09640
496.		-.41850	.01980	-.29030	496.	.43780	.12150
497.		-.49930	.01630	-.29380	497.	.46300	.14670
498.		-.57930	.01320	-.29690	498.	.48830	.17200
499.		-.65790	.01050	-.29960	499.	.51340	.19710
500.		-.73570	.00820	-.30190	500.	.53840	.22210
501.		-.81140	.00630	-.30380	501.	.56280	.24650
502.		-.88630	.00490	-.30520	502.	.58680	.27050
503.	-.104150	-.96010	.00400	-.30610	503.	.61020	.29390
504.	-.96810	-1.03300	.00370	-.30640	504.	.63280	.31650
505.	-.90460		.00390	-.30620	505.	.65480	.33850
506.	-.84900		.00470	-.30540	506.	.67600	.35970
507.	-.80020		.00610	-.30400	507.	.69620	.37990
508.	-.75670		.00810	-.30200	508.	.71540	.39910
509.	-.71780		.01070	-.29940	509.	.73340	.41710
510.	-.68260		.01390	-.29620	510.	.75020	.43390
511.	-.65070		.01780	-.29230	511.	.76550	.44920
512.	-.62160		.02230	-.28780	512.	.77930	.46300
513.	-.59470		.02740	-.28270	513.	.79170	.47540
514.	-.56990		.03290	-.27720	514.	.80270	.48640
515.	-.54710		.03890	-.27120	515.	.81200	.49570
516.	-.52630		.04530	-.26480	516.	.81940	.50310
517.	-.50720		.05210	-.25800	517.	.82500	.50870
518.	-.48900		.05930	-.25080	518.	.82920	.51290
519.	-.47180		.06670	-.24340	519.	.83220	.51590
520.	-.45570		.07430	-.23580	520.	.83380	.51750
521.	-.44030		.08210	-.22800	521.	.83410	.51780
522.	-.42580		.08990	-.22020	522.	.83340	.51710
523.	-.41170		.09790	-.21220	523.	.83170	.51540
524.	-.39790		.10600	-.20410	524.	.82920	.51290
525.	-.38420		.11420	-.19590	525.	.82620	.50990
526.	-.37080		.12230	-.18780	526.	.82280	.50650
527.	-.35720		.13050	-.17960	527.	.81910	.50280
528.	-.34390		.13860	-.17150	528.	.81500	.49870
529.	-.33060		.14670	-.16340	529.	.81050	.49420
530.	-.31740		.15470	-.15540	530.	.80590	.48960
531.	-.30430		.16250	-.14760	531.	.80130	.48500
532.	-.29130		.17020	-.13990	532.	.79660	.48030
533.	-.27820		.17780	-.13230	533.	.79180	.47550
534.	-.26500		.18540	-.12470	534.	.78680	.47050
535.	-.25190		.19290	-.11720	535.	.78160	.46530
536.	-.23860		.20030	-.10980	536.	.77640	.46010
537.	-.22520		.20770	-.10240	537.	.77110	.45480
538.	-.21140		.21510	-.09500	538.	.76560	.44930
539.	-.19770		.22240	-.08770	539.	.76000	.44370
540.	-.18380		.22960	-.08050	540.	.75430	.43800
541.	-.16940		.23690	-.07320	541.	.74850	.43220
542.	-.15480		.24410	-.06600	542.	.74260	.42630
543.	-.13970		.25140	-.05870	543.	.73360	.41730
544.	-.12430		.25860	-.05150	544.	.73050	.41420
545.	-.10860		.26580	-.04430	545.	.72430	.40800
546.	-.09260		.27290	-.03720	546.	.71810	.40180
547.	-.07590		.28010	-.03000	547.	.71180	.39550

Wellen- länge	X — .3101 Y — .3163	Y — .3163 X — .3101	X _s	X _s — .3101	Wellen- länge	Y _s	Y _s — .3163
547.	— .07590		.28010	— .03000	547.	.71180	.39550
548.	— .05860		.28730	— .02280	548.	.70540	.38910
549.	— .04100		.29440	— .01570	549.	.69890	.38260
550.	— .02260		.30160	— .00850	550.	.69230	.37600
551.	— .00350		.30880	— .00130	551.	.68570	.36940
552.	.01600		.31590	.00580	552.	.67910	.36280
553.	.03650		.32310	.01300	553.	.67240	.35610
554.	.05750		.33020	.02010	554.	.66570	.34940
555.	.07940		.33730	.02720	555.	.65890	.34260
556.	.10250		.34450	.03440	556.	.65200	.33570
557.	.12650		.35170	.04160	557.	.64510	.32880
558.	.15120		.35880	.04870	558.	.63830	.32200
559.	.17740		.36600	.05590	559.	.63140	.31510
560.	.20440		.37310	.06300	560.	.62450	.30820
561.	.23270		.38020	.07010	561.	.61750	.30120
562.	.26270		.38740	.07730	562.	.61050	.29420
563.	.29380		.39450	.08440	563.	.60360	.28730
564.	.32640		.40160	.09150	564.	.59660	.28030
565.	.36080		.40870	.09860	565.	.58960	.27330
566.	.39690		.41580	.10570	566.	.58260	.26630
567.	.43500		.42290	.11280	567.	.57560	.25930
568.	.47520		.43000	.11990	568.	.56860	.25230
569.	.51770		.43710	.12700	569.	.56160	.24530
570.	.56210		.44410	.13400	570.	.55470	.23840
571.	.60860		.45100	.14090	571.	.54780	.23150
572.	.65850		.45800	.14790	572.	.54090	.22460
573.	.71190		.46500	.15490	573.	.53390	.21760
574.	.76790		.47190	.16180	574.	.52700	.21070
575.	.82740		.47880	.16870	575.	.52020	.20390
576.	.89040		.48560	.17550	576.	.51340	.19710
577.	.95800	1.04390	.49240	.18230	577.	.50660	.19030
578.	1.02940	.97140	.49910	.18900	578.	.49990	.18360
579.		.90390	.50580	.19570	579.	.49320	.17690
580.		.84140	.51250	.20240	580.	.48660	.17030
581.		.78330	.51910	.20900	581.	.48000	.16370
582.		.72950	.52560	.21550	582.	.47350	.15720
583.		.67930	.53210	.22200	583.	.46710	.15080
584.		.63220	.53850	.22840	584.	.46070	.14440
585.		.58840	.54480	.23470	585.	.45440	.13810
586.		.54750	.55100	.24090	586.	.44820	.13190
587.		.50910	.55720	.24710	587.	.44210	.12580
588.		.47270	.56330	.25320	588.	.43600	.11970
589.		.43920	.56920	.25910	589.	.43010	.11380
590.		.40700	.57520	.26510	590.	.42420	.10790
591.		.37690	.58100	.27090	591.	.41840	.10210
592.		.34900	.58660	.27650	592.	.41280	.09650
593.		.32220	.59220	.28210	593.	.40720	.09090
594.		.29740	.59760	.28750	594.	.40180	.08550
595.		.27390	.60290	.29280	595.	.39650	.08020
596.		.25210	.60800	.29790	596.	.39140	.07510
597.		.23180	.61300	.30290	597.	.38650	.07020
598.		.21250	.61780	.30770	598.	.38170	.06540
599.		.19430	.62250	.31240	599.	.37700	.06070
600.		.17730	.62700	.31690	600.	.37250	.05620
601.		.16090	.63150	.32140	601.	.36800	.05170
602.		.14550	.63590	.32580	602.	.36370	.04740
603.		.13060	.64020	.33010	603.	.35940	.04310
604.		.11670	.64430	.33420	604.	.35560	.03900

Wellen- länge	X — .3101	Y — .3163	X _s	X _s — .3101	Wellen- länge	Y _s	Y _s — .3163
	Y — .3163	X — .3101					
604.		.11670	.64430	.33420	604.	.35560	.03900
605.		.10380	.64820	.33810	605.	.35140	.03510
606.		.09180	.65200	.34190	606.	.34770	.03140
607.		.08020	.65570	.34560	607.	.34400	.02770
608.		.06930	.65920	.34910	608.	.34050	.02420
609.		.05930	.66250	.35240	609.	.33720	.02090
610.		.04980	.66580	.35570	610.	.33400	.01770
611.		.04070	.66890	.35880	611.	.33090	.01460
612.		.03210	.67190	.36180	612.	.32790	.01160
613.		.02410	.67470	.36460	613.	.32510	.00880
614.		.01660	.67740	.36730	614.	.32240	.00610
615.		.00920	.68010	.37000	615.	.31970	.00340
616.		.00240	.68260	.37250	616.	.31720	.00090
617.	—	.00370	.68490	.37480	617.	.31490	— .00140
618.	—	.00980	.68720	.37710	618.	.31260	— .00370
619.	—	.01560	.68940	.37930	619.	.31040	— .00590
620.	—	.02100	.69150	.38140	620.	.30830	— .00800
621.	—	.02580	.69350	.38340	621.	.30640	— .00990
622.	—	.03060	.69540	.38530	622.	.30450	— .01180
623.	—	.03510	.69720	.38710	623.	.30270	— .01360
624.	—	.03940	.69890	.38880	624.	.30100	— .01530
625.	—	.04350	.70060	.39050	625.	.29930	— .01700
626.	—	.04740	.70220	.39210	626.	.29770	— .01860
627.	—	.05110	.70370	.39360	627.	.29620	— .02010
628.	—	.05440	.70510	.39500	628.	.29480	— .02150
629.	—	.05800	.70660	.39650	629.	.29330	— .02300
630.	—	.06110	.70790	.39780	630.	.29200	— .02430
631.	—	.06410	.70920	.39910	631.	.29070	— .02560
632.	—	.06720	.71050	.40040	632.	.28940	— .02690
633.	—	.07000	.71170	.40160	633.	.28820	— .02810
634.	—	.07270	.71290	.40280	634.	.28700	— .02930
635.	—	.07530	.71400	.40390	635.	.28590	— .03040
636.	—	.07780	.71510	.40500	636.	.28480	— .03150
637.	—	.08000	.71610	.40600	637.	.28380	— .03250
638.	—	.08230	.71710	.40700	638.	.28280	— .03350
639.	—	.08460	.71810	.40800	639.	.28180	— .03450
640.	—	.08660	.71900	.40890	640.	.28090	— .03540
641.	—	.08860	.71990	.40980	641.	.28000	— .03630
642.	—	.09030	.72080	.41070	642.	.27920	— .03710
643.	—	.09210	.72160	.41150	643.	.27840	— .03790
644.	—	.09360	.72230	.41220	644.	.27770	— .03860
645.	—	.09520	.72300	.41290	645.	.27700	— .03930
646.	—	.09670	.72370	.41360	646.	.27630	— .04000
647.	—	.09800	.72430	.41420	647.	.27570	— .04060
648.	—	.09930	.72490	.41480	648.	.27510	— .04120
649.	—	.10060	.72550	.41540	649.	.27450	— .04180
650.	—	.10170	.72600	.41590	650.	.27400	— .04230
651.	—	.10280	.72650	.41640	651.	.27350	— .04280
652.	—	.10390	.72700	.41690	652.	.27300	— .04330
653.	—	.10470	.72740	.41730	653.	.27260	— .04370
654.	—	.10580	.72790	.41780	654.	.27210	— .04420
655.	—	.10660	.72830	.41820	655.	.27170	— .04460
656.	—	.10750	.72870	.41860	656.	.27130	— .04500
657.	—	.10810	.72900	.41890	657.	.27100	— .04530
658.	—	.10900	.72940	.41930	658.	.27060	— .04570
659.	—	.10960	.72970	.41960	659.	.27030	— .04600
660.	—	.11030	.73000	.41990	660.	.27000	— .04630
661.	—	.11070	.73020	.42010	661.	.26980	— .04650
662.	—	.11130	.73050	.42040	662.	.26950	— .04680

Wellen- länge	X — .3101 Y — .3163	Y — .3163 X — .3101	X _s	X _s — .3101	Wellen- länge	Y _s	Y _s — .3163
662.		— .11130	.73050	.42040	662.	.26950	— .04680
663.		— .11170	.73070	.42060	663.	.26930	— .04700
664.		— .11220	.73090	.42080	664.	.26910	— .04720
665.		— .11260	.73110	.42100	665.	.26890	— .04740
666.		— .11300	.73130	.42120	666.	.26870	— .04760
667.		— .11340	.73150	.42140	667.	.26850	— .04780
668.		— .11390	.73170	.42160	668.	.26830	— .04800
669.		— .11410	.73180	.42170	669.	.26820	— .04810
670.		— .11450	.73200	.42190	670.	.26800	— .04830
671.		— .11470	.73210	.42200	671.	.26790	— .04840
672.		— .11510	.73230	.42220	672.	.26770	— .04860
673.		— .11530	.73240	.42230	673.	.26760	— .04870
674.		— .11570	.73260	.42250	674.	.26740	— .04890
675.		— .11590	.73270	.42260	675.	.26730	— .04900
676.		— .11640	.73290	.42280	676.	.26710	— .04920
677.		— .11660	.73300	.42290	677.	.26700	— .04930
678.		— .11680	.73310	.42300	678.	.26690	— .04940
679.		— .11720	.73330	.42320	679.	.26670	— .04960
680.		— .11741	.73340	.42330	680.	.26660	— .04970
681.		— .11766	.73352	.42342	681.	.26648	— .04982
682.		— .11791	.73364	.42354	682.	.26636	— .04994
683.		— .11814	.73375	.42365	683.	.26625	— .05005
684.		— .11837	.73386	.42376	684.	.26614	— .05016
685.		— .11860	.73397	.42387	685.	.26603	— .05027
686.		— .11881	.73407	.42397	686.	.26593	— .05037
687.		— .11899	.73416	.42406	687.	.26584	— .05046
688.		— .11918	.73425	.42415	688.	.26575	— .05055
689.		— .11935	.73433	.42423	689.	.26567	— .05063
690.		— .11949	.73440	.42430	690.	.26560	— .05070
691.		— .11962	.73446	.42436	691.	.26554	— .05076
692.		— .11972	.73451	.42441	692.	.26549	— .05081
693.		— .11980	.73455	.42445	693.	.26545	— .05085
694.		— .11987	.73459	.42449	694.	.26541	— .05089
695.		— .11993	.73461	.42451	695.	.26539	— .05091
696.		— .11999	.73464	.42454	696.	.26536	— .05094
697.		— .12001	.73465	.42455	697.	.26535	— .05095
698.		— .12003	.73466	.42456	698.	.26534	— .05096
699.		— .12005	.73467	.42457	699.	.26533	— .05097
700.		— .12005	.73467	.42457	700.	.26533	— .05097
780.		— .12005	.73467	.42457	780.	.26533	— .05097
—492.3961		— .12005	.73467	.42457	—492.3961	.26533	— .05097
—493.		— .17060	.70086	.39076	—493.	.24963	— .06667
—494.		— .25370	.65564	.34554	—494.	.22863	— .08767
—495.		— .33640	.61998	.30988	—495.	.21207	— .10423
—496.		— .41850	.59114	.28104	—496.	.19867	— .11762
—497.		— .49930	.56758	.25748	—497.	.18773	— .12857
—498.		— .57930	.54785	.23775	—498.	.17857	— .13773
—499.		— .65790	.53120	.22110	—499.	.17084	— .14546
—500.		— .73570	.51687	.20677	—500.	.16418	— .15212
—501.		— .81140	.50460	.19450	—501.	.15848	— .15782
—502.		— .88630	.49381	.18371	—502.	.15348	— .16282
—503.	—1.04150	— .96010	.48429	.17419	—503.	.14905	— .16725
—504.	— .96810	—1.03300	.47582	.16572	—504.	.14512	— .17118
—505.	— .90460		.46816	.15806	—505.	.14156	— .17474
—506.	— .84900		.46120	.15110	—506.	.13833	— .17797
—507.	— .80020		.45487	.14477	—507.	.13539	— .18091
—508.	— .75670		.44904	.13894	—508.	.13268	— .18362
—509.	— .71780		.44369	.13359	—509.	.13020	— .18610
—510.	— .68260		.43872	.12862	—510.	.12789	— .18841

Wellen- länge	X — .3101 Y — .3163	Y — .3163 X — .3101	X _s	X _s — .3101	Wellen- länge	Y _s	Y _s — .3163
—510.	— .68260		.43872	.12862	—510.	.12789	— .18841
—511.	— .65070		.43410	.12400	—511.	.12574	— .19056
—512.	— .62160		.42979	.11969	—512.	.12374	— .19256
—513.	— .59470		.42573	.11563	—513.	.12186	— .19444
—514.	— .56990		.42192	.11182	—514.	.12009	— .19621
—515.	— .54710		.41835	.10825	—515.	.11843	— .19787
—516.	— .52630		.41505	.10495	—516.	.11690	— .19940
—517.	— .50720		.41196	.10186	—517.	.11546	— .20084
—518.	— .48900		.40898	.09888	—518.	.11408	— .20222
—519.	— .47180		.40613	.09603	—519.	.11276	— .20354
—520.	— .45570		.40342	.09332	—520.	.11150	— .20480
—521.	— .44030		.40081	.09071	—521.	.11029	— .20601
—522.	— .42580		.39832	.08822	—522.	.10913	— .20717
—523.	— .41170		.39587	.08577	—523.	.10799	— .20831
—524.	— .39790		.39344	.08334	—524.	.10686	— .20944
—525.	— .38420		.39100	.08090	—525.	.10573	— .21057
—526.	— .37080		.38859	.07849	—526.	.10461	— .21169
—527.	— .35720		.38612	.07602	—527.	.10346	— .21284
—528.	— .34390		.38368	.07358	—528.	.10233	— .21397
—529.	— .33060		.38122	.07112	—529.	.10119	— .21511
—530.	— .31740		.37874	.06864	—530.	.10004	— .21626
—531.	— .30430		.37627	.06617	—531.	.09889	— .21741
—532.	— .29130		.37377	.06367	—532.	.09773	— .21857
—533.	— .27820		.37124	.06114	—533.	.09655	— .21975
—534.	— .26500		.36866	.05856	—534.	.09535	— .22095
—535.	— .25190		.36606	.05596	—535.	.09415	— .22215
—536.	— .23860		.36341	.05331	—536.	.09292	— .22338
—537.	— .22520		.36068	.05058	—537.	.09165	— .22465
—538.	— .21140		.35788	.04778	—538.	.09035	— .22595
—539.	— .19770		.35502	.04492	—539.	.08902	— .22728
—540.	— .18380		.35212	.04202	—540.	.08767	— .22863
—541.	— .16940		.34906	.03896	—541.	.08625	— .23005
—542.	— .15480		.34594	.03584	—542.	.08480	— .23150
—543.	— .13970		.34286	.03276	—543.	.08337	— .23293
—544.	— .12430		.33927	.02917	—544.	.08170	— .23460
—545.	— .10860		.33575	.02565	—545.	.08007	— .23623
—546.	— .09260		.33213	.02203	—546.	.07839	— .23791
—547.	— .07590		.32828	.01818	—547.	.07660	— .23970
—548.	— .05860		.32426	.01416	—548.	.07473	— .24157
—549.	— .04100		.32009	.00999	—549.	.07280	— .24350
—550.	— .02260		.31565	.00555	—550.	.07074	— .24556
—551.	— .00350		.31097	.00087	—551.	.06856	— .24774
—552.	.01600		.30610	— .00400	—552.	.06630	— .25000
—553.	.03650		.30088	— .00922	—553.	.06388	— .25242
—554.	.05750		.29543	— .01467	—554.	.06135	— .25495
—555.	.07940		.28965	— .02045	—555.	.05866	— .25764
—556.	.10250		.28340	— .02670	—556.	.05576	— .26054
—557.	.12650		.27675	— .03335	—557.	.05267	— .26363
—558.	.15120		.26974	— .04036	—558.	.04941	— .26689
—559.	.17740		.26213	— .04797	—559.	.04588	— .27042
—560.	.20440		.25406	— .05604	—560.	.04213	— .27417
—561.	.23270		.24535	— .06475	—561.	.03809	— .27821
—562.	.26270		.23584	— .07426	—562.	.03367	— .28263
—563.	.29380		.22569	— .08441	—563.	.02896	— .28734
—564.	.32640		.21462	— .09548	—564.	.02382	— .29248
—565.	.36080		.20256	— .10754	—565.	.01822	— .29808
—566.	.39690		.18935	— .12075	—566.	.01208	— .30422
—567.	.43500		.17483	— .13527	—567.	.00534	— .31096
—567.0468	.43688		.17410	— .13600	—567.0468	.00500	— .31130