

V603

Compton-Effekt

Nico Guth
nico.guth@tu-dortmund.de

Abgabe: 04.05.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Durchführung	5
4 Auswertung	6
4.1 Bestimmung des Emissionsspektrums der Cu-Röntgenröhre	6
4.2 Bestimmung der Transmission vom Aluminiumabsorber	7
4.3 Bestimmung der Compton-Wellenlänge	8
5 Diskussion	9
Literatur	9
6 Anhang	10

1 Zielsetzung

Dieser Versuch dient der Bestimmung der Compton Wellenlänge von Elektronen anhand des Compton Effektes.

2 Theorie

Der Compton Effekt beschreibt die Streuung eines Photons an einem Elektron. Beim Stoß mit dem Elektron gibt das Photon Energie ab und dessen Wellenlänge wird größer. Die Größe dieser Veränderung hängt vom Streuwinkel Θ ab, wobei $\Theta = 0^\circ$ bedeutet, dass die Bahn des Photons nicht verändert wurde. (siehe Abbildung 1) Wenn λ_1 die Wellenlänge vor dem Stoß und λ_2 die Wellenlänge nach dem Stoß beschreibt, lässt sich die Differenz über

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \Theta) \quad (1)$$

berechnen. Der Vorfaktor ist proportional zu den Naturkonstanten der Lichtgeschwindigkeit c , dem Planckschen Wirkungsquantum h und der Elektronenmasse m_e . Dieser konstante Vorfaktor

$$\lambda_c = \frac{h}{m_e c} \quad (2)$$

heißt Compton Wellenlänge.

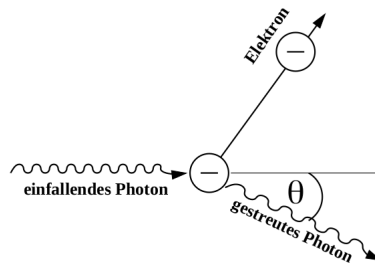


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Compton Effekts.[1]

Um den Effekt beobachten zu können wird hier Röntgenstrahlung an Plexiglas und einem LiF-Kristall gestreut. Die ausfallende Strahlung wird über ein Geiger-Müller-Zählrohr und über die Transmission durch eine Aluminiumplatte mit der einfallenden Strahlung verglichen. Diese Röntgenstrahlung wird in einer Röntgenröhre erzeugt, in der Elektronen von einer Glühkathode auf eine Anode beschleunigt werden. Der Zusammenstoß auf der Anode erzeugt γ -Strahlung.

Das Spektrum dieser Strahlung hängt vom Material der Anode ab. Dieses ist zwar kontinuierlich, allerdings sind zwei Maxima in der Intensität deutlich zu erkennen, da diese Photonenenergien gerade der Energiedifferenz der Energieniveaus eines Anodenatoms

entspricht. Dies ist so zu erklären, dass diese Energien benötigt werden damit das stoßende Elektron ein Elektron aus dem Atom herausschlägt. Damit die so entstandene Lücke geschlossen werden kann, muss die Energie gerade der Energiedifferenz zwischen zwei Energieniveaus der Schalen im Schalenmodell des Atoms entsprechen.

Um die Wellenlänge λ mit einer Photonenenergie in Verbindung zu bringen wird

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (3)$$

verwendet.

Um das charakteristische Spektrum der hier verwendeten Kupferanode zu bestimmen, wird die Röntgenstrahlung an einem LiF-Kristall gebeugt. Hierbei entsteht beim Glanzwinkel α eine konstruktive Interferenz, welche von der Wellenlänge der Röntgenstrahlung abhängt. Die zugehörige Wellenlänge zum Winkel α kann über

$$\lambda = \frac{2d}{n} \sin \alpha \quad (4)$$

bestimmt werden. Hier ist d die Gitterkonstante des Kristalls und n die Beugungsordnung.

Der Geiger-Müller-Zähler kann die Strahlung nicht kontinuierlich messen, sondern hat eine Totzeit τ . Daher muss dies über

$$I = \frac{N}{1 - \tau N} \quad (5)$$

korrigiert werden. Hier ist N die Anzahl der Anschläge des Geiger-Müller-Zählers und I die Intensität der Strahlung.[1]

3 Durchführung

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 2 zu sehen und besteht aus einer Röntgenröhre, einem Geiger-Müller Zählrohr und wahlweise einem LiF-Kristall oder einem Plexiglasstreuer. Zwischen Röntgenröhre und Streuer kann eine Blende eingesetzt werden und an verschiedenen Stellen im Strahlengang kann eine Aluminiumplatte als Absorber eingesetzt werden.

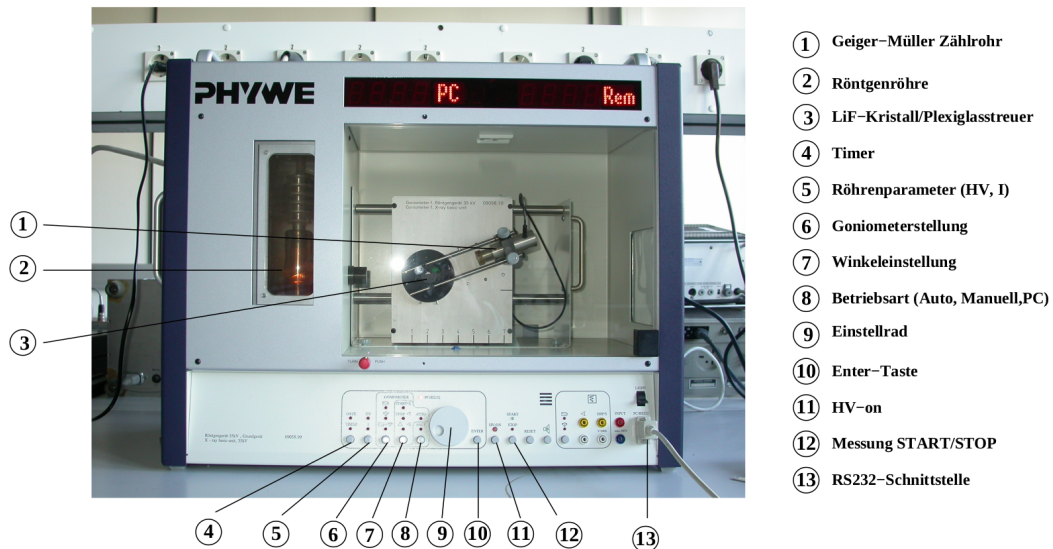


Abbildung 2: Versuchsaufbau.[1]

Um das Emissionsspektrum der Röntgenröhre zu messen, wird der LiF-Kristall und eine 2 mm Blende verwendet. Es wird in $\Delta\alpha = 0,1^\circ$ Schritten von $\alpha = 8^\circ$ bis $\alpha = 25^\circ$ für je 10 Sekunden gemessen.

Als nächstes wird die Transmission durch eine Aluminiumplatte je Wellenlänge $T(\lambda)$ gemessen. Dafür wird immernoch mit dem LiF-Kristall die Intensität für $\alpha = 7^\circ$ bis $\alpha = 10^\circ$ gemessen. Es wird einmal ohne Aluminiumplatte und einmal mit eingesetzter Aluminiumplatte zwischen Blende und LiF-Kristall gemessen.

Um die Compton-Wellenlänge zu bestimmen wird statt LiF-Kristall ein Plexiglasstreuer und statt der 2 mm Blende eine 5 mm Blende verwendet. Der Kristall wird auf 45° und der Geiger-Müller Zähler auf 90° gestellt. (siehe Abbildung 3) Mit diesem Aufbau werden bei einer Integrationszeit von je 300 Sekunden drei Verschiedene Intensitäten gemessen. Als erstes wird die Intensität der gestreuten Röntgenstrahlung ohne einen Aluminiumabsorber gemessen. Dann wird die Intensität gemessen, wenn die Aluminiumplatte zwischen Röntgenröhre und Plexiglasstreuer ist. (Abbildung 3a) Und als letztes wird mit der Aluminiumplatte zwischen Plexiglasstreuer und Geiger-Müller Zähler gemessen. (Abbildung 3b)

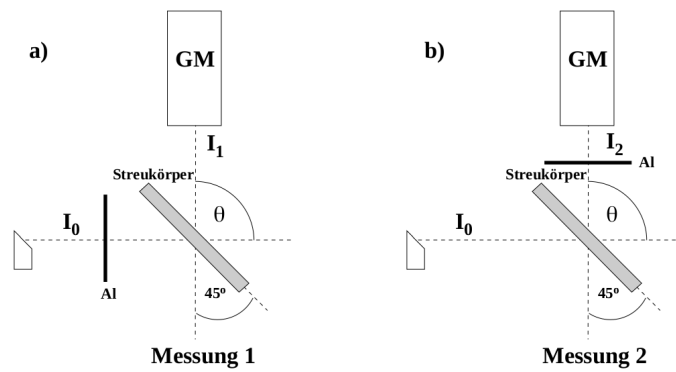


Abbildung 3: Schematischer Versuchsaufbau mit dem Aluminiumabsorber an zwei unterschiedlichen Positionen innerhalb des Strahlengangs von der Röntgenröhre über den Streukörper zu dem Geiger-Müller Zählrohr[1]

4 Auswertung

4.1 Bestimmung des Emissionsspektrums der Cu-Röntgenröhre

Die Messwerte der ersten in Abschnitt 3 beschriebene Messung sind in Tabelle 2 aufgelistet. In Abbildung 4 werden die Messwerte nun als $\lambda - N$ Diagramm dargestellt indem Gleichung 4 verwendet wird. Dabei wird die Gitterkonstante $d = 201,4 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ des LiF-Kristall und die Beugungsordnung $n = 1$ angenommen.

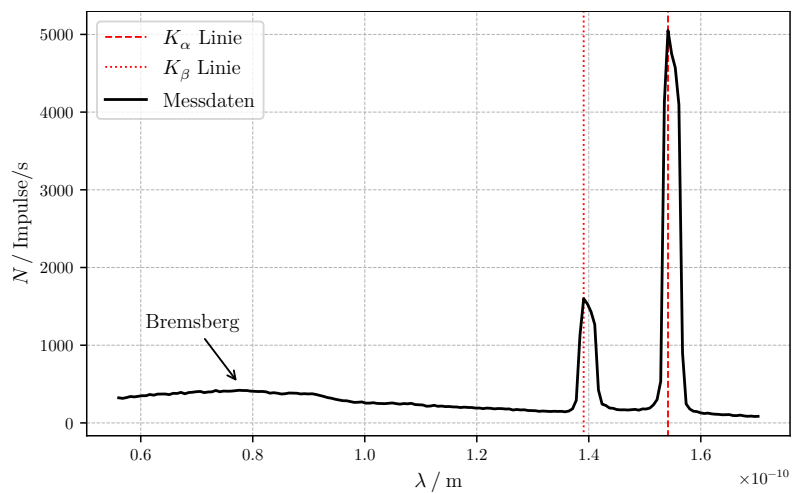


Abbildung 4: Plot des Emissionsspektrums der Röntgenröhre

Hier werden die Stellen der relativen Maxima abgelesen und über Gleichung 3 in eine

Photonenenergie übertragen. Die Maxima sind an den Winkeln

$$\alpha(K_\alpha) = (22,5 \pm 0,1)^\circ$$

$$\alpha(K_\beta) = (20,2 \pm 0,1)^\circ$$

zu finden, wobei die Schrittweite der Messwerte als Fehler angenommen wurde. Als Naturkonstanten werden hier

$$c = 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV s}$$

verwendet. [2] Damit ergeben sich die entsprechenden Energien

$$E(K_\alpha) = (8044 \pm 34) \text{ eV}$$

$$E(K_\beta) = (8915 \pm 42) \text{ eV}.$$

4.2 Bestimmung der Transmission vom Aluminiumabsorber

Die Messwerte der zweite in Abschnitt 3 beschriebene Messung sind in Tabelle 3 aufgelistet. Ziel ist es nun aus diesen Ergebnissen eine Funktion $T(\lambda)$ zu Ermitteln, die die Transmission der Röntgenstrahlung durch die Aluminiumplatte beschreibt. Dafür wird zuerst mithilfe von Gleichung 4, Gleichung 5 und $T = \frac{I_{\text{Al}}}{I_{\text{Ohne}}}$ ein $\lambda - T$ Diagramm erstellt. Dieses ist in Abbildung 5 zu sehen. Die Totzeit des Geiger-Müller Zählers wird als $\tau = 90 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ angenommen und die Integrationszeit der einzelnen Messungen beträgt $t = 200 \text{ s}$. Hierbei wird für N ein Fehler $\Delta N = \sqrt{N} \cdot t/t$ verwendet und es wird mit der Python Bibliothek uncertainties gerechnet.[3]

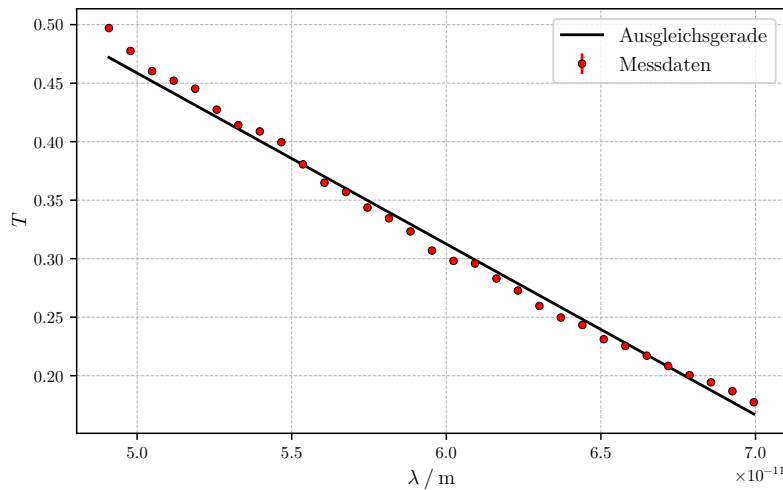


Abbildung 5: Plot der Transmission von Röntgenstrahlung durch einen Aluminiumabsorber

Eine Ausgleichsgerade wird über die Python Funktion `curve_fit` der Bibliothek SciPy erstellt. [4] Als Gleichung wird hierfür

$$T(\lambda) = a \cdot \lambda + b \quad (6)$$

verwendet und die Ausgleichsrechnung ergibt die Parameter

$$a = (-1,461 \pm 0,025) \cdot 10^{10} \frac{1}{\text{m}}$$

$$b = 1,189 \pm 0,016 .$$

4.3 Bestimmung der Compton-Wellenlänge

Die letzten Messergebnisse sind die insgesamt gemessenen Impulse in einer Integrationszeit von $t = 300 \text{ s}$ für drei verschiedene Szenarien

$$I_0 = (2731 \pm 52) \text{ Impulse}$$

$$I_1 = (1180 \pm 34) \text{ Impulse}$$

$$I_2 = (1024 \pm 32) \text{ Impulse} .$$

Hier steht I_0 für die Messung ohne Aluminiumabsorber, I_1 für die Messung mit Aluminiumabsorber zwischen Blende und Plexiglasstreuer und I_2 für die Messung mit Aluminiumabsorber zwischen Plexiglasstreuer und Geiger-Müller Zählrohr. Als Fehler wird hier $\Delta I_i = \sqrt{I_i}$ angenommen.

Mithilfe der Ausgleichsrechnung aus Abschnitt 4.2, $T_i = I_i/I_0$ und

$$\lambda_i = \frac{T_i - b}{a} \quad (7)$$

ergeben sich die Wellenlängen

$$\lambda_1 = (5,18 \pm 0,17) \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

$$\lambda_2 = (5,57 \pm 0,17) \cdot 10^{-11} \text{ m} .$$

Damit ergibt sich die Compton-Wellenlänge zu

$$\lambda_C = \lambda_2 - \lambda_1 = (3,9 \pm 1,2) \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

unter Verwendung der Python Bibliothek `uncertainties`. [3]

Tabelle 1: Messergebnisse und Literaturwerte der K -Linien und der Compton-Wellenlänge.

	K_α / eV	K_β / eV	λ_C / m
Gemessen	8044	8915	$3,9 \cdot 10^{-12}$
Literatur[5][2]	8048	8905	$2,4 \cdot 10^{-12}$

5 Diskussion

Die Betrachtung des Emissionsspektrums der Kuper Röntgenröhre ergibt die Energielevel der K_α und K_β Linien in Tabelle 1. Der Vergleich mit den Literaturwerten zeigt, dass diese hier ausreichend genau bestimmt werden konnten.

Auch die hier bestimmte Compton-Wellenlänge ist in Tabelle 1 mit entsprechendem Vergleichswert gelistet. Hier lässt sich eine größere Abweichung vom Literaturwert erkennen, auch wenn die Größenordnung übereinstimmt.

Diese Abweichung kann mehrere Ursachen haben. Zum Einen wurden keine Ungenauigkeiten der Messgeräte oder verwendeten Materialien beachtet. Zum Anderen wurden die Messgeräte eventuell nicht ausreichend genug von Strahlung der Umgebung abgeschirmt. Weitere Fehlerquellen sind denkbar.

Eine Messung des Compton Effekts muss mit Röntgenstrahlung statt sichtbarem Licht geschehen, da sichtbares Licht nicht genügend Energie besitzt um die Bindungsenergie des Elektrons in den meisten Materialien überwinden zu können.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch Nr. 603 Der Compton-Effekt*. 2020.
- [2] NIST Standard Reference Database. *CODATA Internationally recommended 2018 values of the Fundamental Physical Constants*. URL: <https://physics.nist.gov/cuu/Constants/> (besucht am 04.05.2020).
- [3] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [4] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [5] NIST Standard Reference Database. *X-Ray Transition Energies Database*. URL: <https://www.nist.gov/pml/x-ray-transition-energies-database> (besucht am 02.05.2020).

6 Anhang

Tabelle 2: Messergebnisse des Emissionsspektrums mit Winkel α und Intensität N

$\alpha / ^\circ$	$N / \text{Imp/s}$	$\alpha / ^\circ$	$N / \text{Imp/s}$	$\alpha / ^\circ$	$N / \text{Imp/s}$	$\alpha / ^\circ$	$N / \text{Imp/s}$
8,0	323,0	12,3	376,0	16,6	211,0	20,9	192,0
8,1	316,0	12,4	385,0	16,7	206,0	21,0	188,0
8,2	326,0	12,5	384,0	16,8	205,0	21,1	172,0
8,3	340,0	12,6	382,0	16,9	198,0	21,2	168,0
8,4	335,0	12,7	373,0	17,0	203,0	21,3	169,0
8,5	343,0	12,8	376,0	17,1	199,0	21,4	166,0
8,6	350,0	12,9	373,0	17,2	198,0	21,5	170,0
8,7	350,0	13,0	375,0	17,3	191,0	21,6	174,0
8,8	366,0	13,1	366,0	17,4	192,0	21,7	164,0
8,9	357,0	13,2	354,0	17,5	184,0	21,8	180,0
9,0	371,0	13,3	341,0	17,6	191,0	21,9	179,0
9,1	371,0	13,4	326,0	17,7	188,0	22,0	191,0
9,2	372,0	13,5	318,0	17,8	181,0	22,1	232,0
9,3	364,0	13,6	305,0	17,9	185,0	22,2	300,0
9,4	381,0	13,7	296,0	18,0	184,0	22,3	536,0
9,5	379,0	13,8	286,0	18,1	179,0	22,4	4128,0
9,6	393,0	13,9	285,0	18,2	180,0	22,5	5050,0
9,7	375,0	14,0	274,0	18,3	166,0	22,6	4750,0
9,8	391,0	14,1	264,0	18,4	173,0	22,7	4571,0
9,9	395,0	14,2	266,0	18,5	167,0	22,8	4097,0
10,0	402,0	14,3	270,0	18,6	169,0	22,9	901,0
10,1	405,0	14,4	255,0	18,7	160,0	23,0	244,0
10,2	390,0	14,5	255,0	18,8	159,0	23,1	179,0
10,3	398,0	14,6	260,0	18,9	157,0	23,2	151,0
10,4	400,0	14,7	251,0	19,0	149,0	23,3	145,0
10,5	418,0	14,8	250,0	19,1	153,0	23,4	130,0
10,6	401,0	14,9	248,0	19,2	150,0	23,5	121,0
10,7	410,0	15,0	253,0	19,3	147,0	23,6	126,0
10,8	408,0	15,1	257,0	19,4	150,0	23,7	117,0
10,9	409,0	15,2	248,0	19,5	148,0	23,8	112,0
11,0	414,0	15,3	242,0	19,6	149,0	23,9	110,0
11,1	420,0	15,4	249,0	19,7	143,0	24,0	105,0
11,2	417,0	15,5	246,0	19,8	153,0	24,1	106,0
11,3	417,0	15,6	252,0	19,9	182,0	24,2	107,0
11,4	409,0	15,7	236,0	20,0	291,0	24,3	95,0
11,5	406,0	15,8	234,0	20,1	1127,0	24,4	94,0
11,6	404,0	15,9	231,0	20,2	1599,0	24,5	100,0
11,7	405,0	16,0	215,0	20,3	1533,0	24,6	91,0
11,8	400,0	16,1	217,0	20,4	1430,0	24,7	85,0
11,9	383,0	16,2	227,0	20,5	1267,0	24,8	88,0
12,0	389,0	16,3	214,0	20,6	425,0	24,9	83,0
12,1	382,0	16,4	217,0	20,7	241,0	25,0	85,0
12,2	372,0	16,5	210,0	20,8	225,0		

Tabelle 3: Messergebnisse der Transmission durch den Aluminiumabsorber mit Winkel α , Intensität mit Aluminiumplatte N_{Al} und ohne Aluminiumplatte N_{Ohne} , Intensität mit Totzeitkorrektur $I_{(\text{Al})}$ und I_{Ohne} und Transmission T

$\alpha / ^\circ$	$N_{\text{Al}} / \frac{\text{Imp}}{\text{s}}$	$N_{\text{Ohne}} / \frac{\text{Imp}}{\text{s}}$	$I_{\text{Al}} / \frac{\text{Imp}}{\text{s}}$	$I_{\text{Ohne}} / \frac{\text{Imp}}{\text{s}}$	T
7,0	$113,5 \pm 0,8$	226 ± 1	$114,7 \pm 0,8$	230 ± 1	$0,497 \pm 0,004$
7,1	$112,0 \pm 0,7$	232 ± 1	$113,1 \pm 0,8$	236 ± 1	$0,477 \pm 0,004$
7,2	$112,0 \pm 0,7$	240 ± 1	$113,1 \pm 0,8$	245 ± 1	$0,460 \pm 0,004$
7,3	$113,5 \pm 0,8$	248 ± 1	$114,7 \pm 0,8$	253 ± 1	$0,452 \pm 0,004$
7,4	$115,0 \pm 0,8$	255 ± 1	$116,2 \pm 0,8$	260 ± 1	$0,445 \pm 0,004$
7,5	$113,5 \pm 0,8$	262 ± 1	$114,7 \pm 0,8$	268 ± 1	$0,427 \pm 0,003$
7,6	$113,0 \pm 0,8$	269 ± 1	$114,2 \pm 0,8$	275 ± 1	$0,414 \pm 0,003$
7,7	$114,5 \pm 0,8$	276 ± 1	$115,7 \pm 0,8$	283 ± 1	$0,409 \pm 0,003$
7,8	$114,0 \pm 0,8$	281 ± 1	$115,2 \pm 0,8$	288 ± 1	$0,400 \pm 0,003$
7,9	$112,0 \pm 0,7$	289 ± 1	$113,1 \pm 0,8$	297 ± 1	$0,381 \pm 0,003$
8,0	$109,5 \pm 0,7$	295 ± 1	$110,6 \pm 0,8$	303 ± 1	$0,365 \pm 0,003$
8,1	$109,0 \pm 0,7$	300 ± 1	$110,1 \pm 0,8$	308 ± 1	$0,357 \pm 0,003$
8,2	$108,0 \pm 0,7$	308 ± 1	$109,1 \pm 0,7$	317 ± 1	$0,344 \pm 0,003$
8,3	$106,0 \pm 0,7$	311 ± 1	$107,0 \pm 0,7$	319 ± 1	$0,334 \pm 0,003$
8,4	$104,5 \pm 0,7$	317 ± 1	$105,5 \pm 0,7$	326 ± 1	$0,323 \pm 0,003$
8,5	$101,5 \pm 0,7$	324 ± 1	$102,4 \pm 0,7$	333 ± 1	$0,307 \pm 0,003$
8,6	$100,0 \pm 0,7$	328 ± 1	$100,9 \pm 0,7$	338 ± 1	$0,298 \pm 0,002$
8,7	$100,5 \pm 0,7$	332 ± 1	$101,4 \pm 0,7$	342 ± 1	$0,296 \pm 0,002$
8,8	$97,5 \pm 0,7$	337 ± 1	$98,4 \pm 0,7$	347 ± 1	$0,283 \pm 0,002$
8,9	$95,0 \pm 0,7$	340 ± 1	$95,8 \pm 0,7$	351 ± 1	$0,273 \pm 0,002$
9,0	$92,5 \pm 0,7$	348 ± 1	$93,3 \pm 0,7$	359 ± 1	$0,260 \pm 0,002$
9,1	$89,5 \pm 0,7$	350 ± 1	$90,2 \pm 0,7$	361 ± 1	$0,250 \pm 0,002$
9,2	$88,0 \pm 0,7$	353 ± 1	$88,7 \pm 0,7$	364 ± 1	$0,243 \pm 0,002$
9,3	$84,5 \pm 0,7$	356 ± 1	$85,1 \pm 0,7$	368 ± 1	$0,231 \pm 0,002$
9,4	$83,0 \pm 0,6$	359 ± 1	$83,6 \pm 0,7$	370 ± 1	$0,225 \pm 0,002$
9,5	$81,0 \pm 0,6$	363 ± 1	$81,6 \pm 0,6$	375 ± 1	$0,217 \pm 0,002$
9,6	$78,5 \pm 0,6$	367 ± 1	$79,1 \pm 0,6$	379 ± 1	$0,208 \pm 0,002$
9,7	$76,0 \pm 0,6$	369 ± 1	$76,5 \pm 0,6$	381 ± 1	$0,200 \pm 0,002$
9,8	$74,0 \pm 0,6$	370 ± 1	$74,5 \pm 0,6$	383 ± 1	$0,194 \pm 0,002$
9,9	$72,0 \pm 0,6$	375 ± 1	$72,5 \pm 0,6$	388 ± 1	$0,187 \pm 0,002$
10,0	$68,5 \pm 0,6$	375 ± 1	$68,9 \pm 0,6$	388 ± 1	$0,177 \pm 0,002$