XIII. Ueber die Beziehungen zwischen verschiedenen Modificationen heteromorpher Mineralsubstanzen.

Von

Felix Kreutz in Lemberg.

(Mit 1 Holzschnitt.)

Eine allseitig auf Krystalle einwirkende Zug- und Druckkraft kann in denselben ähnliche Aenderungen wie eine entsprechende Temperaturerhöhung oder Temperaturerniedrigung hervorbringen. Anisotrope Krystalle werden durch eine allseitig auf sie wirkende Zugkraft, ebenso wie durch Erwärmung, in einer Richtung (z. B. in der optischen Axe) stärker als in einer anderen Richtung (z. B. senkrecht zur Axe) ausgedehnt, indem die Molekularkräfte dem Auseinanderrücken der Krystallmoleküle unter der Einwirkung einer Zugkraft, ebenso wie dem Auseinandertreten derselben unter dem Einfluss der Wärme, in der ersteren Richtung einen schwächeren Widerstand als in der anderen Richtung entgegensetzen.

Der Unterschied in der Stärke der Ausdehnung nach verschiedenen Richtungen unter dem Einflusse der Erwärmung ist bei einigen Krystallen so gross, dass sie, nach Fizeau's und Pfaff's Beobachtungen, während der Dilatation nach einer Richtung sogar eine Contraction nach einer anderen Richtung erleiden. Ebenso verhalten sich wohl viele in dieser Beziehung noch nicht untersuchte Krystalle, obgleich bei manchen der Contraction nach einer Richtung eine Ausdehnung nach derselben Richtung vorausgehen wird. Ist nämlich die Temperaturerhöhung oder die auf den Krystall wirkende Zugkraft genügend gross und der Unterschied in seiner Ausdehnung nach verschiedenen Richtungen ziemlich bedeutend, so wird auch die, bei der allmäligen nach verschiedenen Richtungen abweichenden Vergrösserung der Abstände zwischen den Krystallmolekülen, eintretende Zunahme der unter denselben thätigen anziehenden Kräfte nach verschiedenen Richtungen verschiedene Werthe besitzen. In Folge der hierdurch bewirkten, allmäligen stärker werdenden Spannung im Krystall wird seine Ausdehnung nach einer bestimmten Richtung (z. B. senkrecht zur Axe)

immer geringer und endlich negativ werden; der Krystall wird sich in dieser Richtung zusammenziehen.

Ein Krystall, welcher durch Erwärmung, oder durch eine allseitig auf ihn wirkende Zugkraft, in einer Richtung ausgedehnt wird, indem er sich senkrecht zu dieser zusammenzieht, erleidet hiedurch eine Aenderung in der Anordnungsweise seiner Krystallmoleküle, in seinen Dimensionsverhältnissen und seinem Volum, wie sie auch durch eine schwächere, nur in der Richtung seiner grössten Ausdehnung wirkende Zugkraft hervorgebracht werden könnte.

Krystalle heteromorpher Substanzen könnten daher vielleicht ebenso, wie durch Temperaturänderung, auch durch äusseren Zug oder Druck in einen Zustand versetzt werden, in welchem sie einer Umwandlung in eine andere Modification dieser Substanz unterliegen. Das Umstehen von Eisen beim Stossen, von Schwefel, Quecksilberjodid und anderen beim Ritzen wird eben durch den hiebei ausgeübten Druck bewirkt oder angeregt. Am sichersten kann man sich hiervon durch einen leicht auszuführenden Versuch mit Quecksilberjodid überzeugen. Erwärmt man ein auf eine starke Glasplatte aufgeschüttetes Häufchen rothen Quecksilberjodids, auf welches eine eben solche Glasplatte aufgelegt ist, bis es vollkommen in die gelbe Modification übergeht, und drückt dann die obere Glasplatte stark an, so röthen sich sogleich diejenigen Partien des Quecksilberjodids, welche vom Drucke betroffen werden. Wird das Präparat gleich hierauf auf einen (nicht erwärmten) Tisch gelegt und der Druck auf die Glasplatte aufgehoben, so werden die rothen Partien der untersuchten Substanz gelb, und bei erneuertem Drucke wieder roth. Geht die Erkaltung der stark erwärmten Probe langsam vor, so kann man den Versuch ohne nachmalige Erwärmung derselben mehrmals wiederholen.

Wird ein Krystall durch Erwärmung oder eine äussere Zugkraft dilatirt, so können seine Krystallmoleküle, ohne in kleinere Moleküle zu zerfallen, nur in dem Falle eine neue mehr oder weniger stabile Gleichgewichtslage annehmen, wenn sie, im Bestreben den geänderten Verhältnissen ihrer Lage durch Verschiebung ihrer Bestandtheile (wie eine solche Lehmann*) bei physikalisch-metameren Körpern annimmt) sich anzupassen, Eigenschaften erlangen, welche, als mit der Symmetrie des ursprünglichen Krystalls unvereinbar, eine gleichzeitige Aenderung seiner Form (ohne weitere Volumänderung des Körpers) nach sich ziehen. Da die hierbei stattfindende Bewegung nicht auf einmal die ganze Masse eines grösseren Krystalls, sondern ruckweise einzelne Partien desselben ergreift, so muss er hierbei in ein Aggregat kleinerer Krystalle zerfallen.

Die dargelegten Vorstellungen über den Vorgang bei der Ausdehnung der Krystalle, sowie bei der Paramorphose derselben, veranlassten mich,

*) O. Lehmann, »Ueber physikalische Isomerie« in dieser Zeitschrift 1, 97.

zu untersuchen, ob zwischen zwei, zu verschiedenen Modificationen einer Mineralsubstanz gehörigen Krystallen sich nicht ähnliche Beziehungen, wie sie zwischen einem Körper vor und nach der Einwirkung einer Zugkraft auf denselben bestehen, nachweisen liessen. Die Resultate dieser Untersuchung, welche bereits zum grossen Theil in den Sitzungsberichten der Academie der Wissenschaften in Krakau Bd. V, in polnischer Sprache mitgetheilt sind, bestätigen vollkommen die obige Voraussetzung.

Bekanntlich wird, wenn L die ursprüngliche Länge und B den ursprünglichen Flächeninhalt des Querschnittes eines prismatischen Körpers bezeichnet, die Länge desselben durch Einwirkung einer Zugkraft in der Richtung der Längsaxe in $L(1 + \delta)$ und der Flächeninhalt des Querschnittes in $B(1 - \mu\delta)^2$ übergehen, worin δ die Verlängerung des Körpers für die Längeneinheit und $\mu\delta$ die Contraction für die Längeneinheit des Querdurchmessers bedeuten. Es ist hierbei $L(1 + \delta)B(1 - \mu\delta)^2 > L.B^*)$.

Den angeführten Beziehungen eines gedehnten prismenförmigen Körpers zu demselben Körper vor der Dehnung entsprechen die Unterschiede zwischen zwei zu verschiedenen Modificationen einer Mineralsubstanz gehörenden, in ihren Grundpyramiden ausgebildeten Krystallen von gleichem absoluten Gewicht, falls deren Formen auf drei gleich- oder ungleich-werthige Krystallaxen bezogen werden.

Dasselbe Gesetz, welches das Verhältniss zweier solcher Krystalle bestimmt, gilt für alle derartige Krystalle, welche verschiedenen, durch keine dritte (auch dem spec. Gewichte nach dazwischenstehende) vermittelten Modificationen einer Mineralsubstanz angehören; nur die krystallisirten Modificationen des Kohlenstoffes scheinen sich von einander auch in diesen Beziehungen, wie in manchen anderen Eigenschaften, bedeutender, als verschiedene Modificationen einer anderen Mineralsubstanz zu unterscheiden.

Der Zusammenhang verschiedener krystallisirter Modificationen einer heteromorphen Mineralsubstanz lässt sich, falls sie dem regulären, tetragonalen, rhombischen oder monoklinen Krystallsystem angehören, genauer angeben und leicht durch Vergleichung der weiter unten zusammengestellten Dimensionsverhältnisse und spec. Gewichte je zweier solcher Krystalle von gleichem absoluten Gewichte erweisen.

Aus dieser Zusammenstellung ersieht man zunächst, dass der eine der verglichenen Krystalle immer ein grösseres Volum als der zweite Krystall besitzt. Der grössere derselben unterscheidet sich vom kleineren durch eine längere Verticalaxe und eine kleinere Basis, oder umgekehrt durch eine kürzere Verticalaxe und eine breitere Basis. Bezeichnet c die Hälfte

*) Für das Verhältniss μ wurden von den Physikern bei verschiedenen Substanzen Werthe gefunden, welche sich der Zahl $\frac{1}{3}$ mehr oder weniger nähern; es soll im Folgenden angenommen werden: $\mu = \frac{4}{\delta + 2,6}$.

der Verticalaxe des Krystalls mit breiterer Basis, $(a + a')^2$ den halben Flächeninhalt seiner Basis, oder, wenn er monoklin ist, das Product aus dem halben Flächeninhalt seiner Basis und $\sin \beta$ d. i. dem sinus des Neigungswinkels der Verticalaxe gegen die Klinodiagonale, $C = c + c'$ die Hälfte der Verticalaxe im zweiten Krystall, a^2 den halben Flächeninhalt seiner Basis, eventuell mit $\sin \beta$ multiplicirt, n den Werth von 2,6 (s. S. 238 Anm.), so lassen sich die Beziehungen dieser Werthe in den zusammengestellten Krystallen, falls der dichtere sich vom weniger dichten auch durch eine kürzere Verticalaxe und breitere Basis unterscheidet, durch folgende Gleichungen ausdrücken:

- I) $c'a = cna'$, oder
- II) $ca + c'a = ca + cna'$, das ist
- III) $Ca = c(a + na')$, also
- IV) $c : C = a : a + na'$, $c : c' = a : na'$, es ist hiermit
- V) $c' \geq na'$ wenn $c \geq a$, und
- VI) $c' = na'$ im Fall $c = a$.

Setzt man $\delta = \frac{c'}{c}$, $\mu\delta = \frac{a'}{a + a'}$, so wird

$$\text{VII) } \frac{\mu\delta}{1 - \mu\delta} = \frac{\delta}{n}, \quad \mu\delta = \frac{\delta}{\delta + n}, \quad \mu = \frac{1}{\delta + n}$$

$$\text{VIII) } C = c(1 + \delta)$$

$$\text{IX) } a^2 = (a + a')^2(1 - \mu\delta)^2 \text{ oder } a = (a + a')(1 - \mu\delta).$$

Da sich die Volumina dieser Krystalle umgekehrt wie ihre Dichtigkeiten verhalten, so ist auch, wenn G das spec. Gewicht des dichteren, und G' das spec. Gewicht des weniger dichten Krystalls bezeichnet:

$$\text{X) } c(a + a')^2 : (c + c')a^2 = c(a + a')^2 : c(1 + \delta) \cdot (a + a')^2(1 - \mu\delta)^2 = G' : G.$$

Die beistehende Figur kann das Verständniss dieser Beziehungen erleichtern. Der Werth der einzelnen Linien ist durch die bereits in den Gleichungen eingeführten Beziehungen von derselben Bedeutung angegeben, ausserdem bezeichnet in derselben l die Hälfte der Verticalaxe eines Krystalls der dichteren Mo-

Fig. 1.

dification, dessen Basis denselben Flächeninhalt, wie die Basis der weniger dichten der verglichenen Krystalle (also gleich $2a^2$) besitzen würde; ferner

ist noch $y = na'$, daher $a' = \frac{y}{n}$.

Aus dieser Figur ersieht man auch, dass

$$\text{XI)} \quad l : c = a : \left(a + \frac{y}{n} \right) = a : a + a',$$

$$l : c - l = a : \frac{y}{n}, \text{ daher}$$

$$\text{XII)} \quad y = \frac{na(c - l)}{l}.$$

$$\text{Da nun nach III)} \quad Ca = c(a + na') \text{ oder}$$

$$Ca = c(a + y)$$

so ergibt sich, wenn man in der letzten Gleichung für y den Werth aus XII) einstellt:

$$\text{XIII)} \quad c = \frac{(n - 1)l + \sqrt{(n - 1)^2 l^2 + 4 C l n}}{2n},$$

und aus XI) und XIII) folgt

$$\text{XIV)} \quad a + a' = a \left\{ \frac{(n - 1) + \sqrt{(n - 1)^2 + \frac{4 C n}{l}}}{2n} \right\}.$$

Besitzt der dichtere von zweien, zu verschiedenen Modificationen einer Mineralsubstanz gehörigen Krystallen, bei gleichem absoluten Gewicht, eine längere Verticalaxe und eine kleinere Basis als der weniger dichte, wie dies in der Regel dann der Fall zu sein scheint, wenn einer der verglichenen Krystalle schiefaxig ist, so lassen sich zwischen ihnen ebenfalls ähnliche Beziehungen, obgleich in anderen Richtungen, nachweisen. Solche Krystalle stehen nämlich in einem ähnlichen Verhältniss zu einander, wie ein, in einer zur Längsaxe senkrechten Richtung gedehnter Körper zu diesem Körper vor der Dehnung.

Setzt man hier demnach:

$$\delta = \left(\frac{a + a'}{a} \right)^2 - 1, \quad \frac{\mu \delta}{1 - \mu \delta} = \sqrt{\frac{C}{c}} - 1, \text{ daher}$$

$$\mu \delta = 1 - \sqrt{\frac{c}{C}} = 1 - \sqrt{\frac{c}{c + c'}}$$

so ist unter derartigen Krystallen ebenfalls, wie unter den Krystallen der ersten Gruppe, das in der Gleichung VII)

$$\frac{\mu \delta}{1 - \mu \delta} = \frac{\delta}{n}, \quad \mu \delta = \frac{\delta}{\delta + n}, \quad \mu = \frac{1}{\delta + n}$$

ausgedrückte Verhältniss vorhanden, es ist ferner

$$c(a + a')^2 : Ca^2 = G : G'.$$

Die Richtigkeit der durch alle diese Gleichungen ausgedrückten Be-

hauptung über den Zusammenhang von regulären, tetragonalen, rhombischen oder auch monoklinen Krystallen, welche verschiedenen Modificationen einer Mineralsubstanz angehören, wird durch die folgende Zusammenstellung (welche alle derartigen Krystalle, deren Axenverhältniss und spec. Gewichte genau bekannt sind, umfasst) erwiesen.

I. Gruppe.

Die Verticalaxe des grösseren der zusammengestellten Krystalle ist länger als die des kleineren Krystalls, $\delta = \frac{C}{c} - 1 = \frac{c'}{c}$.

1) TiO_2 Anatas-Brookit:

Anatas (spec. Gew. = 3,83...3,93) $G' = 3,87$, $AV = 1:1,7777$,
 $\sqrt{1}:1,7777 = 1:1,7777 = a:C$, $a = 1$, $C = 1,7777$.

Brookit, $G = 4,09$, $AV = 0,9444:1:0,8446$, $\sqrt{0,9444}:0,8446$
 $= 0,9718:0,8446 = 1:0,866 = a:l$, $a = 1$, $l = 0,866$.

Aus diesen gegebenen a , C und l findet man für den Brookitkrystall, welcher ein gleiches absolutes Gewicht mit dem Anatastrystall, dessen Volum die Werthe a und C bestimmen, besitzen würde, nach XIII) und XIV):

$$a + a' = \frac{1}{1 - \mu\delta} = 1,24801, \quad c = 1,08078, \quad \delta = 0,64482,$$

$$\frac{\mu\delta}{1 - \mu\delta} = \frac{\delta}{n} = 0,24801, \quad \mu\delta = 0,19872, \quad \mu = 0,3083,$$

$$a + a':c = 1,24801:1,08078 = a:l.$$

Dass der Anatastrystall, dessen Dimensionen $a:C$ und der Brookitkrystall, dessen Dimensionen $a + a':c$ bestimmen, gleiches absolutes Gewicht besitzen, beweist der Umstand, dass das Product aus dem Volum und dem spec. Gewicht des einen Krystalls durch das Volum des zweiten Krystalls dividirt, gleich dem spec. Gewicht des letzteren ist; es ist daher $\frac{c(a + a')^2 \cdot G}{Ca^2} = G' = 3,875$.

2) TiO_2 Brookit-Rutil:

Brookit, $G' = 4,09$, $AV = 0,9444:1:0,8446$, $\sqrt{0,9444}:0,8446$
 $= 0,9718:0,8446 = 1:0,866 = a:C$, $a = 1$, $C = 0,866$.

Rutil, $G = 4,09$, $AV = 1:0,6442 = a:l$, $a = 1$, $l = 0,6442$

$$a + a' = 1,0898, \quad c = 0,702058, \quad \delta = 0,233516, \quad a' = \frac{\delta}{n}$$

$$= 0,0898, \quad \mu\delta = 0,0824, \quad \mu = 0,3528, \quad \frac{c(a + a')^2 \cdot G}{Ca^2} = G' = 4,09.$$

3) Sb_2O_3 Senarmontit-Valentinit:

Senarmontit, $G' = 5,3$, $a:C = 1:1$, $a = 1$, $C = 1$.

Valentinit, $G = 5,6$, $AV = 0,382 : 1 : 0,344$, $\sqrt{0,382} : 0,344$
 $= 0,61806 : 0,344 = 1 : 0,55658 = a : l$, $a = 1$, $l = 0,55658$.

$$a + a' = 1,19408, \quad c = 0,6646054, \quad \delta = 0,50465223, \quad a' = \frac{\delta}{n}$$

$$= 0,19408, \quad \mu\delta = 0,162535, \quad \mu = 0,322, \quad \frac{c(a + a')^2 \cdot G}{Ca^2}$$

$$= G' = 5,3.$$

4) As_2O_3 Arsenit-Claudetit:

Arsenit (spec. Gewicht 3,6—3,7), $G' = 3,65$, $a : C = 1 : 1$,
 $a = 1$, $C = 1$.

Claudetit, $G = 3,85$, $AV = 0,3758 : 1 : 0,35$, $\sqrt{0,3758} : 0,35$
 $= 1 : 0,57094 = a : l$, $a + a' = 1,1842348$, $c = 0,6761258$,

$$\delta = 0,479, \quad \mu\delta = 0,1555722, \quad \mu = 0,3247754, \quad \frac{c(a + a')^2 \cdot G}{Ca^2}$$

$$= G' = 3,65.$$

5) Ag_2S Akanthit-Argentit:

Akanthit, $G' = 7,214$, $AV = 0,6886 : 1 : 0,9945$, $\sqrt{0,6886} : 0,9945$
 $= 1 : 1,198454 = a : C$, $a = 1$, $C = 1,198454$.

Argentit, $G = 7,4$, $a : l = 1 : 1$, $a + a' = 1,0531$, $c = 1,0531$,
 $\delta = 0,13806$, $\mu\delta = 0,05042256$, $\mu = 0,365222$, $\frac{c(a + a')^2 \cdot G}{Ca^2}$
 $= G' = 7,214$.

6) Cu_2S Chalkosin-Reguläres Kupfersulfuret:

Chalkosin, $G' = 5,78$, $AV = 0,5822 : 1 : 0,9709$, $\sqrt{0,5822} : 0,9709$
 $= 1 : 1,2724432 = a : C$, $a = 1$, $C = 1,2724432$.

Regulär. Kupfersulfuret $G = 5,98$, $a : l = 1 : 1$, $a + a' = 1,0719 = c$,
 $\delta = 0,1871$, $\mu\delta = 0,06707$, $\mu = 0,35847$, $\frac{c(a + a')^2 \cdot G}{Ca^2}$
 $= G' = 5,78$.

7) FeS_2 Markasit-Pyrit:

Markasit, $G' = 4,8$, $AV = 0,7519 : 1 : 1,1845$, $\sqrt{0,7519} : 1,1845$
 $= 1 : 1,366 = a : C$, $a = 1$, $C = 1,366$.

Pyrit, $G = 5$, $a : l = 1 : 1$, $a + a' = c = 1,095137$, $\delta = 0,24734$,
 $\mu\delta = 0,0868722$, $\mu = 0,3512$, $\frac{c(a + a')^2 \cdot G}{Ca^2} = G' = 4,8$.

II. Gruppe.

Die Verticalaxe des grösseren der zusammengestellten Kry-
 stalle ist kürzer als die Verticalaxe des kleineren Krystals,

$$\delta = \left(\frac{a + a'}{a}\right)^2 - 1, \quad \frac{\mu\delta}{1 - \mu\delta} = \sqrt{\frac{C}{c}} - 1, \quad \mu\delta = 1 - \sqrt{\frac{c}{C}}.$$

8) S Rhombischer Schwefel — Monokliner Schwefel:

Rhombischer Schwefel, $G = 2,07$, $AV = 0,843 : 1 : 1,9037$,
 $\sqrt{0,843} : 1,9037 = 1 : 2,441328 = a : C$, $a = 1$, $C = 2,441328$.

Monokliner Schwefel, $G' = 1,96$, $AV = 0,9958 : 1 : 0,9998$,
 $\beta = 84^\circ 14'$, $\sqrt{0,9958} \cdot \sin \beta : 0,9998 = 0,9953694 : 0,9998$
 $= 1 : 1,004451212 = a : l$, $a + a' = 1,30524$, $c = 1,3410284$,
 $(a + a')^2 = 1 + \delta = 1,703573$, $\sqrt{\frac{C}{c}} = 1 + \frac{\mu \delta}{1 - \mu \delta} = 1,27058$,
 $\mu \delta = 0,2429579$, $\mu = 0,30268$, $\frac{c(a + a')^2 \cdot G'}{Ca^2} = G = 2,07$.

 9) (Pb , Ag)⁵ Sb^4 S^{11} Freieslebenit — Diaphorit:

Freieslebenit, G (nach Vrba) $= 6,04$, $AV = 0,5872 : 1 : 0,9278$,
 $\beta = 87^\circ 46'$, $\sqrt{0,5872} \cdot \sin \beta : 0,9278 = 0,765985 : 0,9278$
 $= 1 : 1,24125 = a : C$, $a = 1$, $C = 1,24125$.

Diaphorit, spezifisches Gewicht $= 5,9$, nach Vrba hingegen $6,04$,
 $AV = 0,4944 : 1 : 0,7344$, $\sqrt{0,4944} = 0,704$, $0,704 : 0,7344$
 $= 1 : 1,04764622 = a : l$, $a + a' = 1,05756$, $c = 1,40795$,
 $(a + a')^2 = 1 + \delta = 1,1184332$, $\sqrt{\frac{C}{c}} = 1 + \frac{\mu \delta}{1 - \mu \delta}$
 $= 1,045578$, $\mu \delta = 0,0435942$, $\mu = 0,36806$, $\frac{Ca^2 \cdot 6,04}{c(a + a')^2}$
 $= 5,904$.

 10) $BaCO^3 + CaCO^3$ Alstonit — Barytocalcit:

Alstonit, spec. Gewicht $= 3,65$ — $3,76$, $AV = 0,594 : 1 : 0,739$,
 $\sqrt{0,594} = 0,76875$, $0,76875 : 0,739 = 1 : 0,96428 = a : C$,
 $a = 1$, $C = 0,96428$.

Barytocalcit, spec. Gewicht $3,63$ — $3,66$, $AV = 0,974 : 1 : 0,8468$,
 $\beta = 69^\circ 30'$, $\sqrt{0,974} \cdot \sin \beta : 0,8468 = 0,955454 : 0,8468$
 $= 1 : 0,886558 = a : l$, $a + a' = 1,0323$, $c = 0,9452$,
 $(a + a')^2 = 1 + \delta = 1,0656433$, $\sqrt{\frac{C}{c}} = 1 + \frac{\mu \delta}{1 - \mu \delta} = 1,0253$,
 $\mu \delta = 0,0246757$, $\mu = 0,3759$, $\frac{c(a + a')^2 \cdot 3,63}{Ca^2} = 3,68$.

 11) $H^2Ca^4(Al^2)^3Si^6O^{26}$ Epidot — Zoisit:

Epidot (spezifisches Gewicht $= 3,326 \dots 3,494$) $G = 3,455$,
 $AV = 1,5807 : 1 : 1,8057$, $\beta = 64^\circ 36'$, $\sqrt{1,5807} \cdot \sin \beta$
 $= 1,494949$, $1,494949 : 1,8057 = 1 : 1,54444 = a : C$,
 $a = 1$, $C = 1,54444$.

$$\begin{aligned}
 &\text{Zoisit (spezifisches Gewicht} = 3,28-3,364), \quad G' = 3,28, \quad AV \\
 &= 0,6468 : 4 : 0,7089, \quad \sqrt{0,6468} = 0,785366, \quad 0,785366 : 0,7089 \\
 &= 1 : 0,9026363 = a : l, \quad a + a' = 1,2082, \quad c = 1,0905652, \\
 &(a + a')^2 = 1 + \delta = 1,45975, \quad \sqrt{\frac{C}{c}} = \frac{1}{1 - \mu\delta} = 1 + \frac{\mu\delta}{1 - \mu\delta} \\
 &= 1,1774, \quad \mu\delta = 0,150463, \quad \mu = 0,32727, \quad \frac{c(a + a')^2 \cdot G'}{Ca^2} \\
 &= G = 3,455.
 \end{aligned}$$