

zu Nr. 6

Dem Energieniveau-Schema von Quecksilber können wir entnehmen, dass die Ionisationsenergie 10,5 eV beträgt. Erkläre, warum die Ionisation des Quecksilbergases erst bei über 30 eV zu beobachten ist. Welche Faktoren haben Einfluss darauf, ob wir die Ionisation schon bei 25 eV oder erst bei 35 eV beobachten können?

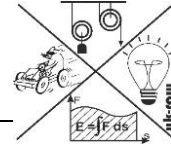
Antworten sind in alphabetischer Reihenfolge und nicht qualitativ geordnet.

Einige der Aussagen sind vollständig richtig, einige Aussagen sind teilweise richtig, manche Aussagen ungenau. Vollständig falsche Aussagen sind nicht enthalten.

Damit das Quecksilbergas ionisiert, müssen die Atome mit 10,5 eV angeregt werden. Da die kinetische Energie der Elektronen erst beim Passieren der Gitteranode der elektrischen Energie entspricht, mit der sie beschleunigt wurden, ist es bei einer Beschleunigungsspannung von knapp über 10,5 eV noch extrem unwahrscheinlich, dass genug Elektronen mit dieser Energie auf Quecksilberatome treffen, die lawinenartige Ionisation des Gases auslösen und nicht schon viel früher Energie abgeben (oder ungehindert das Beschleunigungsfeld verlassen). Mit zunehmender Beschleunigungsspannung erreichen die Elektronen aber schon viel früher die nötige Energie, um Quecksilberatome zu ionisieren, damit steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Elektronen nicht schon vor Erreichen der Geschwindigkeit entsprechend einer Beschleunigung mit 10,5 eV auf ein Quecksilberatom treffen und dadurch gebremst werden, ohne ein Atom zu ionisieren. In der Konstellation, in der wir den Versuch durchgeführt haben, konnten wir die Ionisation bei knapp über 30 eV beobachten. Faktoren, die beeinflussen, bei welcher Beschleunigungsspannung wir die Ionisation beobachten, sind Druck und Temperatur. Beide Größen haben einen Einfluss, da sie die Wahrscheinlichkeit, dass ein Elektron frühzeitig auf ein Quecksilberatom treffen erhöhen. Grund dafür ist das beide Faktoren zunächst die Anzahl an Teilchen pro Volumen erhöhen können und damit die Ionisationsenergie anheben. Je höher der Druck, desto mehr Teilchen sind pro Volumen vorhanden (der Versuch funktioniert allerdings nur, wenn der Druck immer noch niedrig genug ist, dass das Quecksilber gasförmig werden kann). Je höher die Temperatur, desto mehr Quecksilberatome werden gasförmig. Allerdings erhöht die Temperatur die Teilchenbewegung und macht damit das frühzeitige Zusammentreffen der Quecksilberatome mit Elektronen wahrscheinlicher und hebt die Ionisationsenergie an (solange man es nicht schafft das Quecksilber auf eine Temperatur zu erhitzen, bei der es schon aufgrund der Temperatur ionisiert).

Ein weiterer Faktor, der beeinflusst, wann die Ionisation zu beobachten ist, ist natürlich noch das Element, mit dem die Röhre befüllt ist, da die Ionisierungsenergie abhängig von der Stärke der Bindung von Atomkern und Elektronen ist und sich diese je nach Element unterscheidet.

- Ruben Bartel



Der Grund, wieso das Quecksilbergas nicht bei 10,5 eV ionisiert, ist an sich ziemlich einfach. Die Elektronen besitzen nämlich zu keinem Zeitpunkt oder zu einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit, bei einer angelegten Spannung von 10,5 eV, die Energie von 10,5 eV. Selbst bei einer angelegten Spannung von beispielsweise 15 eV würde die Elektronen eine Energie von 10,5 eV mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit erreichen. Das liegt daran, dass die Elektronen bevor sie die notwendige Energie von 10,5 eV auf ein Hg-Atom treffen und diese abgeben. Nun wird das Elektron von neuem beschleunigt und trifft wieder, bevor es die Ionisierungsenergie erreicht auf ein Atom und gibt seine bis dahin erhaltene Energie ab. Erst ab einer Beschleunigungsspannung von 30 eV ist die Strecke die das Elektron zurücklegen muss um eine Energie von 10,5 eV zu haben kurz genug, dass es kaum auf andere Atome trifft, welche dies verhindern könnten.

Ein wichtiger Einflussfaktor wäre die Anzahl der Hg-Atome. Bei einer geringeren Anzahl an Hg-Atomen sinkt die Wahrscheinlichkeit dass ein Elektron auf eins trifft und kann somit länger beschleunigen. Bei einer höheren Konzentration von Hg-Atomen würde die Energie welche zum Ionisieren nötig ist steigen.

-John B.-

Die Ionisationsenergie von Quecksilber liegt bei 10,5 eV, das heißt ein beschleunigtes Elektron braucht eine Energie von 10,5 eV, um das Quecksilber zu ionisieren. Warum Erscheinungen der Ionisation von Quecksilber erst bei einer Beschleunigungsspannung zwischen 25 V-35 V erkennbar sind, liegt an der Wahrscheinlichkeit, mit der ein Elektron die Ionisationsenergie erreicht, ohne seine Energie vorher an ein Atom abzugeben. Diese Wahrscheinlichkeit steigt bei einer höheren Beschleunigung, und somit einer höheren Beschleunigungsspannung. Wie hoch diese genau sein muss, hängt jedoch von den Bedingungen ab, unter denen experimentiert wird. Hier spielen zum Beispiel die Temperatur, sowie der Innendruck eine entscheidende Rolle.

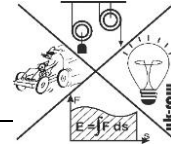
-Lucas C.-

Ein Elektron wird im elektrischen Feld beschleunigt. Das bedeutet, dass ein Elektron auf dem Weg zur Anode an Energie zunimmt. Trifft ein Elektron früh auf ein Quecksilberatom, so regt es dieses folglich mit weniger Energie an, als wenn es später auf ein Quecksilberatom trifft. Wie früh ein Elektron auf ein Quecksilberatom trifft lässt sich durch Faktoren wie Druck und Dichte beeinflussen. Daraus folgt: Je höher die Dichte des Quecksilberdampfes, desto mehr Spannung muss angelegt werden um eine Ionisation zu beobachten.

-Thorve D.-

Die Elektronen werden den ganzen Weg der Röhre über beschleunigt. Da sie meist schon vor dem Erreichen der Ionisationsenergie von 10,5 eV auf Quecksilber Atome treffen und durch die Anregung die Anregungsenergie von 4,9 eV verlieren, reicht eine Spannung von 10,5 V nicht aus um Ionisation zu beobachten. Erst bei über 30 V werden die Elektronen so beschleunigt, dass sie mit hoher Wahrscheinlichkeit trotz Anregungen Quecksilber Atome ionisieren können. Einfluss darauf haben unter anderem Temperatur und Druck in der Röhre, die die Bewegung und Dichte der Atome beeinflussen.

-Mathis H,-



Die Bewegungsenergie des Elektrons muss mindestens 10,5 eV sein, da die Ionisationsenergie ebenfalls 10,5 eV ist. Die kinetische Energie eines Atoms und die Beschleunigungsspannung stehen also in Abhängigkeit zueinander. Bei einer niedrigen Beschleunigungsspannung braucht das Elektron logischerweise länger um auf eine bestimmte Geschwindigkeit zu kommen. Die Wahrscheinlichkeit des Elektrons in Form eines unelastischen Stoßes auf ein Atom zu treffen, bevor es die volle mögliche Geschwindigkeit erreicht hat, ist abhängig von der Zeit. Der Effekt bei dieser geringen Beschleunigungsspannung ist also sehr klein. Durch Dampfdruck und Temperatur lassen sich die Bedingungen anpassen und der Effekt der Ionisation wird für uns sichtbar.

-Niko K.-

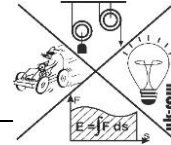
Wenn Elektronen bei einer Beschleunigungsspannung $U_B < 4,9 \text{ V}$ auf ein Quecksilberatom treffen, kommt es zu einem elastischen Stoß. Dabei geben die Elektronen ihre Energie nicht an die Quecksilberatome ab. Sie bewegen sich mit der gleichen Geschwindigkeit weiter. Die Energie der Elektronen bei einer Beschleunigungsspannung von unter 4,9 V reicht nicht für eine Ionisation aus. Erhöht man jedoch die Beschleunigungsspannung, so kommt es zu unelastischen Stößen zwischen Elektronen und Quecksilberatomen. Die Elektronen geben dabei ihre Energie teilweise oder ganz an die Quecksilberatome ab. Dadurch reicht die Energie für eine Ionisation nicht aus. Je mehr man die Beschleunigungsspannung erhöht, desto unwahrscheinlicher ist es, dass ein Elektron auf ein Quecksilberatom trifft, bevor das Elektron die notwendige Ionisationsenergie erreicht hat. Durch die höhere Beschleunigungsspannung werden die Elektronen schneller beschleunigt, was dazu führt, dass der benötigte Weg der Elektronen für eine Ionisation kleiner wird und somit auch die Wahrscheinlichkeit auf ein Atom zu treffen. Deshalb erfolgt die Ionisation erst bei 30 eV und nicht, wie wir dem Energieniveau-Schema, bei 10,5 eV.

-Simon M.-

Die Elektronen werden mit der Beschleunigungsspannung U_B beschleunigt. Da sie bei einer Anregungsenergie von 10,5 eV, welche potenziell gerade so zur Ionisation der Atome ausreicht, diese allerdings erst ganz am Ende der Röhre erreicht haben, ist noch keine Ionisation sichtbar. Das liegt daran, dass ein Elektron bereits bei einer Energie von 4,9 eV bei einem Zusammenstoß mit einem Hg-Atom seine Energie verliert, da dies ein Energieniveau ist, bei dem ein unelastischer Stoß stattfindet. Diese Energie hat das Elektron bereits deutlich früher erreicht und gibt somit seine Energie ab und muss erneut beschleunigt werden. Dabei erreicht es die benötigte Energie zur Ionisation der Atome allerdings nicht mehr. Bei einer Anregungsenergie von über 30 eV ist das Elektron bereits so früh so schnell beschleunigt worden, dass beim ersten unelastischen Stoß direkt die benötigte Ionisationsenergie von 10,5 eV vorhanden ist.

Ein möglicher Faktor, der Einfluss hat, ist die der Druck, da der Abstand zwischen den Atomen bei einer Druckerhöhung verringert wird, und somit die Elektronen häufiger auf ein Atom treffen werden.

-Niklas M.-



Die Ionisation des Quecksilbergases wäre bereits bei 10,5 eV möglich, allerdings müssen die Elektronen erst auf diese Energie beschleunigt werden. Die Elektronen können erst über 30 eV die Hg-Atome ionisieren, weil sie darunter mit sehr großer Wahrscheinlichkeit ein Hg-Atom treffen und anregen, bevor sie eine Energie von 10,5 eV erreichen können. Je höher die Beschleunigungsspannung, desto wahrscheinlicher erreichen die Elektronen 10,5 eV und können Hg-Atome ionisieren. Wann die Ionisation des Quecksilbergases stattfindet, hängt stark mit der Anzahl der Hg-Atome zusammen, da je weniger Hg-Atome vorhanden sind, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Elektronen eines treffen und ihre Energie abgeben, bevor sie 10,5 eV erreicht haben. Entsprechend ist die Energie, die zur Ionisation benötigt wird, abhängig vom Druck im Gasbehälter und der Temperatur in diesem. Die Temperatur hat außerdem einen Einfluss darauf, wie viele Elektronen überhaupt vorhanden sind, die beschleunigt werden können. Sind zu wenige Elektronen vorhanden, kann es nicht zur Ionisation kommen.

-Annika M.-

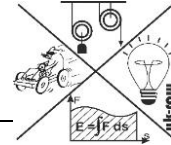
Die Energie die zum Ionisieren benötigt wird beträgt 10,5eV, das heißt die Bewegungsenergie eines Elektrons muss mindestens 10,5eV groß sein. Die maximale kinetische Energie eines Elektrons ist abhängig von der Beschleunigungsspannung. Wird ein Elektron mit einer 10,5eV Beschleunigungsspannung beschleunigt, so ist dies die maximale kinetische Energie, die das Elektron aufnehmen kann. Zudem kann man sagen, dass je niedriger die Beschleunigungsspannung ist, desto länger braucht das Elektron auf eine bestimmte Geschwindigkeit zu kommen. Ist die Beschleunigungsenergie nun 10,5V, so kann man deshalb darauf schließen, dass dies die Beschleunigungsspannung ist, wo das Elektron die längste Zeit braucht um eine Energie von 10,5eV zu besitzen. Denn es gilt: $v(t,a)$ und $E_{kin}(m, v)$. Die Wahrscheinlichkeit ein Atom zu treffen und diesem die Energie in Form eines unelastischen Stoßes abzugeben, bevor man schon auf die volle Geschwindigkeit beschleunigt wurde zu treffen, ist abhängig von der Zeit. Da diese Zeit verhältnismäßig lang ist bei einer Beschleunigungsspannung von 10,5V, ist die Wahrscheinlichkeit gering schon ab diesem Wert die Atome zu ionisieren. Mithilfe des Dampfdrucks und der Temperatur kann man die Bedingungen nun so anpassen, dass bei entweder 25V oder bei 30V die Atome ionisiert werden.

-Komeill M.-

Die Ionisationsenergie wäre theoretisch nach Erreichen einer Spannung von 10,5 V bereitgestellt. Jedoch können die beschleunigten Elektronen ihre Energie abgeben, sobald sie 4,9 eV erreicht haben und somit ein Quecksilberatom anregen. Je kleiner die Beschleunigungsspannung ist, desto länger ist der Weg, den ein Elektron benötigt, um eine gewisse Energie zu erreichen. Dies bedeutet, dass bei einer geringen Spannung auch die Wahrscheinlichkeit steigt, dass ein beschleunigtes Elektron nach Erreichen von 4,9 eV auf ein Quecksilberatom trifft und somit dies nur anregt und nicht ionisiert. Wird die Beschleunigungsspannung nun gesteigert, so sinkt der benötigte Weg und auch die Wahrscheinlichkeit, dass ein Elektron mit einer zu geringen Energie in Bezug auf die Ionisation auf ein Quecksilberatom trifft. Ab einem gewissen Spannungswert ist die Wahrscheinlichkeit gering genug und Elektronen können die Quecksilberatome ionisieren, wodurch ein Lawineneffekt entsteht.

Die Menge an Quecksilberatomen in dem gesetzten Volumen hat Einfluss auf die benötigte Beschleunigungsspannung. Je geringer die Konzentration der Quecksilberatome, desto geringer die Wahrscheinlichkeit eines Zusammentreffens von beschleunigtem Elektron und Atom und desto geringer auch die für eine Ionisation benötigte Beschleunigungsspannung. Dies gilt demnach umgekehrt für eine höhere Konzentration. Die Konzentrationsänderung kann auch durch eine Druckerhöhung erreicht werden.

-Cornelius R.-



Wenn man die Beschleunigungsenergie erhöht, dann erhöht sich die Bewegungsenergie der Elektronen. Das Elektron legt somit den Weg schneller zurück und die Wahrscheinlichkeit auf ein Atom zu treffen, dieses anzuregen und eine Energie von 4,9 eV abzugeben erhöht sich. Folglich muss das Elektron so früh wie möglich eine höhere Energie als die Ionisierungsenergie von 10,5 eV haben, da es mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit bereits vor Erreichen dieser Energie auf ein Hg-Atom trifft und dieses anregt. Somit ist eine Ionisierung erst bei einer hohen Beschleunigungsspannung von beispielsweise 30 eV zu beobachten, da das Elektron schon früh eine Energie von mindestens 10,5 eV hat und so das Hg-Atom ionisiert werden kann.

Der Dampfdruck und so die Temperatur haben einen hohen Einfluss darauf, ob eine Ionisierung schon bei 25 eV oder erst bei 35 eV zu beobachten ist. Denn erst bei einer optimalen Temperatur können sich die Hg-Atome entsprechend verteilen und bewegen. Die Wahrscheinlichkeit, dass das Elektron auf ein Hg-Atom trifft und die benötigte Ionisierungsenergie von 10,5 eV hat, ist erst ab 25 eV, 30 eV bzw. 35 eV hoch genug, um eine Ionisierung zu beobachten.

-Marlon S.-

In der Franck-Hertz-Röhre sehen wir bereits einen Leuchtstreifen ab einer UB von ca. 7 V und danach einen neuen Leuchtstreifen in 4.9 V Abständen, da ab hier die kinetische Energie der beschleunigten Elektronen reicht, um die Quecksilberatome nach einer bestimmten zurückgelegten Strecke anzuregen, weshalb sie Lichtquanten emittieren.

...

Um diese Ionisationsgrenze nun zu ändern, müssen die Quecksilberatome entweder näher beieinander sein oder weiter voneinander entfernt. Dies erreichen wir, indem wir das Quecksilber in der Röhre entweder kälter werden lassen oder erhitzen.

-Philip T.-

Es gibt eine gewisse Wahrscheinlichkeit, bei der ein beschleunigtes Elektron auf ein Hg-Atom trifft. Die Wahrscheinlichkeit bestimmt, wie viel Zeit maximal benötigt werden darf, um das Elektron auf einer bestimmten Strecke so zu beschleunigen, dass es ein Hg-Atom ionisieren kann. Ist der Weg, auf dem das Elektron beschleunigt wird, zu kurz, um das Elektron auf die Ionisationsenergie zu beschleunigen, aber es erreicht die Anregungsenergie, wird das Hg-Atom zuerst einmal nicht ionisiert und das Elektron regt das Atom lediglich an, gibt Energie ab und wird abgebremst. Das heißt, wenn ein Elektron beispielsweise auf 5 V beschleunigt wird, reicht diese Beschleunigung für die Anregung des Hg-Atoms aus, aber nicht für 10,5 eV um es zu ionisieren. Das Elektron regt ein Hg-Atom an, gibt 4,9 eV ab und wird abgebremst. Danach beschleunigt es erst erneut und trifft auf weitere Atome und wird aufgrund mangelnder Beschleunigung bzw. Energie erneut abgebremst. Aufgrund dieser Abbremsungen wird die Ionisation erst bei über 30 eV beobachtet, da die Elektronen erst hier die ausreichende Energie, die Ionisationsenergie erreicht haben.

Ob die Ionisation schon bei 25 eV oder erst bei 35 eV zu beobachten ist könnte beispielsweise von der Temperatur abhängen. Ist die Temperatur zu niedrig, das heißt geringer als 160 Grad, liegen nicht genug Hg-Atome im gasförmigen Zustand vor. Das heißt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Elektron auf ein Atom trifft wird kleiner. Eine weitere Hypothese ist außerdem, dass der Druck in der Franck-Hertz-Röhre einen Einfluss auf die Ionisation hat.

-Caro W.-