

**6. Feb. 15.55.35**

# **RES158\_Sternfusion\_am\_Teilchenbeschleuni**

Willkommen zum Forschungspodcast der Helmholtz-Gemeinschaft.

Ich bin Heurer Klein.

Ich bin mal wieder nach Darmstadt gefahren und sitze in der Gesellschaft für Schwerionenforschung.

Das macht man so, wenn unser eins nach Darmstadt fährt und mir gegenüber sitzt eine Astrophysikerin.

Ihr Name ist Katrin Göbel und sie ist wissenschaftliche Mitarbeiterin der Arbeitsgruppe Nukleare Astrophysik an der Uni Frankfurt am Main.

Hallo Katrin.

Hallo Holger.

Warum sitzen wir in der GSI, wenn du an der Uni arbeitest?

Weil ich seit einiger Zeit, seit mehr als zwei Jahren, ungefähr die Hälfte der Woche hier arbeite.

Warum?

Weil hier ein super Experiment steht, um Astrophysik und Sterne zu erforschen.

Ein super Experiment?

Wahrscheinlich mehrere, zumindest eins, an dem ich mitarbeite.

Welches wäre das?

Das nennt sich R3b.

Wofür steht R, wofür steht die Zahl und wofür steht B?

Und warum ist es nicht so eine Abkürzung?

Wir haben hier Beschleuniger.

Beschleuniger heißen immer irgendwie cooles Akronym.

Fair, Luzi.

Oder?

Warum heißt deins nicht so?

Genau, aber ist doch cool.

R3b.

Also ich könnte auch RRRB sagen.

Ah, okay.

Aber was bedeutet es?

Also Reaktion mit radioaktiven Strahlen.

Darum geht es.

Was genau machst du da?

Das kommt darauf an, welcher Tag gerade ist.

Also ich mache verschiedene Dinge, die anfangen von, ich arbeite auch tatsächlich manchmal in Frankfurt für das Experiment hier und mache zum Beispiel CAD-Entwürfe am Computer.

Also Computer-Aided Design.

Also ich entwerfe Mechanik, die wir hier dann brauchen, die wir dann in der Werkstatt in Frankfurt oder hier fertigen und damit, die bringen wir dann mit und

machen mit diesen Mechanik, also mit Metallteilen, mit Konstruktionsteilen bauen wir dann Detektoren zum Beispiel.

An anderen Tagen bauen wir die Detektoren zusammen auf und nehmen sie in Betrieb und gucken mal, ob diese Teilchendetektoren denn auch Teilchen sehen oder nicht.

Und an anderen Tagen sitze ich tatsächlich vorm Computer und schaue dann in diese Daten, die wir aufgenommen haben und gucke, ob alles funktioniert hat, so wie wir es wollten oder eben nicht.

Was detektiert ihr oder was versucht ihr denn zu detektieren mit eurem Detektor, also mit der Mechanik, die du vorher gebaut hast?

Also was ist der Sinn des Experiments?

Erkenntnis, ja, aber feiner granuliert.

Feiner granuliert hätten wir das ganz schöne Experiment, das wir im April gemacht haben, ist das, was mich so die letzten zwei Jahre umgetrieben hat.

Und da ging es darum, Sterne besser zu verstehen und genauer gesagt zu verstehen, in welchen Mengen Sterne Sauerstoff und Kohlenstoff machen.

Das machen die relativ am Anfang, so von der Entwicklung.

Je nachdem, kommt ja darauf an, wie schwer der Stern ist und wie er sich entwickelt.

Schwerer Stern war es später oder schwerer Stern war es früher?

Früher.

Okay.

Und da wollten wir mehr drüber erfahren, über diese eine Phase, die in Sternen abläuft.

Also wenn wir da mal kurz vorne anfangen.

Ja bitte.

Wir reden über Sterne.

Das sind die Dinger, die um die Sonne kreisen, ne?

Nö.

Ich habe das nur gesagt, um die Astronomen unter den Hörern fertig zu machen.

Die Sonne ist ja schon mal ein Stern.

Und die Sonne macht gerade das, was die Sterne so die meiste Zeit haben.

Die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und die Sonne ist ja auch immer noch ein bisschen mehr.

Und das machen die extrem lang für einen sehr großen Anteil ihrer Lebenszeit.

Und die nächste Phase, die dann kommt, ist: Jetzt habe ich im Zentrum von diesem Stern aus Wasserstoff Helium gemacht.

Also sehr viel Helium.

Und jetzt kann es weitergehen in die nächste Phase.

Dafür brauche ich höhere Temperaturen, höheren Druck.

Das passiert so in der Sternentwicklung dann als nächstes.

Ich wollte gerade fragen: Wo kriegt der Stern das her?

Aber das passiert automatisch?

Ja, das passiert aus dem, was passiert.

Stell dir vor, der ganze Wasserstoff ist jetzt zu Helium da verarbeitet worden.

Und jetzt hast du dann ein Objekt, wo ja Masse außenrum ist in diesem Stern.

Und diese Masse drückt nach innen.

Da gibt es also einen Gravitationsdruck nach innen.

Und eigentlich ja diesen Strahlungsdruck und auch der Temperaturdruck, der nach außen wirkt.

Und das hält sich so im Gleichgewicht.

Und da gibt es so diesen Stern in dieser Phase.

Das ist, was unsere Sonne gerade macht.

Genau.

Die will eigentlich platzen, aber hat so viel Masse, dass sie zusammengehalten wird.

Genau, da findet sich ein Gleichgewicht.

Okay.

Für diesen Stern.

Und irgendwann ist aber eben das Wasserstoff verbraucht und ich habe Helium im Zentrum.

Und jetzt hast du plötzlich fehlt dieser Strahlungsdruck von innen.

Das heißt, dieser Stern rutscht auch automatisch zusammen.

Ja.

Weil jetzt habe ich auch Kapitationsflug von außen, habe ich ja immer noch.

Und das nächste, was passiert ist, ist das in der Schale um den Kern rum, um dieses Zentrum, wo schon Helium ist, jetzt wieder Wasserstoff brennt.

Wasserstoff Schalen brennen. macht immer mehr Helium.

Ich denke, der hat keinen Wasserstoff mehr.

Ja, außen in der Hülle schon.

Okay.

Okay.

Das ist ein ganz kleines Zentrum eigentlich verhältnismäßig zu diesem großen Objekt, wo jetzt das Wasserstoff brennen stattgefunden hat und jetzt ein Helium Kern ist.

Und jetzt kann das immer mehr zusammenrücken.

Es wird immer mehr Helium produziert, drückt immer weiter zusammen, sodass irgendwann die Temperatur auch so hoch genug ist und der Druck hoch genug, dass die nächste Phase zünden kann, nämlich das Helium brennen im Kern.

So, und dann?

In diesem Helium brennen, das man auch 3-Alpha-Prozess nennt, also ein Heliumkern ist ein Alphakern, hat einfach zwei verschiedene Namen historisch.

Okay.

Und wenn jetzt drei Heliumkerne zusammen verschmelzen können, dann entsteht Kohlenstoff.

Mhm.

Das passiert jetzt auch eine gewisse Weile, eben solange Helium da ist.

Jetzt habe ich also Helium, Kohlenstoff, jetzt schon beides da.

Und das kann jetzt wiederum verschmelzen und Sauerstoff bilden.

Also während dieses Helium brennen, kann ich auch schon aus Kohlenstoff und Helium, dass er noch da ist, Sauerstoff machen.

Und diese Reaktion hat uns interessiert.

Also Kohlenstoff plus Helium ergibt Sauerstoff.

Und die Frage ist, wie wahrscheinlich ist diese Reaktion bei diesen Bedingungen im Stern?

Das heißt, es ist nicht ein normales Entwicklungsstadium des Sterns, dass er Kohlenstoff und Sauerstoff produziert, sondern das passiert?

Im Helium brennen, doch.

Das schon.

Das ist die nächste Entwicklungsphase, dann nach dem Wasserstoffbrennen.

Okay, weil du sagtest, wie wahrscheinlich ist es?

Ja, wie wahrscheinlich ist es, dass es passiert?

Also es passiert nicht mit dem... Ach bezogen auf den einen Stern und nicht bezogen auf alle Sterne oder wie man so.

Ich dachte, es passiert immer.

Es passiert immer, aber wie viel denn davon?

Also du hast eine gewisse Menge Helium, du hast eine gewisse Menge Kohlenstoff und bei diesen Bedingungen, die da sind, wie viel Sauerstoff entsteht denn daraus?

Also eine Frage, wie oft treffen sich Kohlenstoff und Helium?

Unter Wahrscheinlichkeit verstehst du was anderes als ich.

Das könnte sein.

Arbeiten wir weiter mit deiner Wahrscheinlichkeit.

Also wie wahrscheinlich ist die Reaktion, wenn da eine bestimmte Menge Helium,

bestimmte Menge Kohlenstoff ist, bestimmte Temperatur, davon ist es ab.

Also lass Helium und Kohlenstoff sich öfter mal begegnen in diesem Szenario, aber sie müssen nicht unbedingt zu Sauerstoff verschmelzen.

Und jetzt will man wissen, wie oft passiert es denn?

Das möchte ich wissen.

Wenn du das anhand eines Sterns herausgefunden hast, ist das dann gültig für alle Sterne?

Kann man das übertragen?

Eigentlich bin ich ein Schritt vorher.

Du bist ein Schritt vorher.

Ich möchte über den ganzen Temperaturbereich wissen, wie wahrscheinlich ist die Reaktion.

Und dann suchst du für den Stern, wo du weißt, da ist die Temperatur so und so groß, dann guckst du nach und da ist die Wahrscheinlichkeit so groß.

Also es würde dann idealerweise, wenn man Daten für über den ganzen Temperaturbereich hat, dann suche ich mir für den Stern das raus, was ich brauche.

Was hast du davon, das zu wissen, außer dass du es weißt?

Oh, viel.

Meiner Meinung nach, es ist ja, diese Reaktion nennen wir ja auch den heiligen Gral der nuklearen Astrophysik.

Der heilige Gral der nuklearen Astrophysik.

Okay.

Also zum einen geht es natürlich um die Elemente, die wichtig für uns hier sind, so wie wir sitzen.

Ja.

Kohlenstoff und Sauerstoff.

Also ohne das wäre es für uns beide hier ziemlich schwierig.

Mhm.

Das ist mal das eine.

Also es gibt sehr viel Kohlenstoff und Sauerstoff hier in diesem Sonnensystem und wir wollen wissen, woher es kommt.

Wir würden das gerne erklären, diese Geschichte, was da passiert ist.

Es ist aber dann auch für die weitere Entwicklung von den Sternen entscheidend, in welchem Verhältnis habe ich denn Kohlenstoff und Sauerstoff.

Also ich mache das jetzt irgendwie.

Ich mache in diesem Heliumbrennen aus Kohlenstoff und Helium auch Sauerstoff.

Und je nachdem, in welchem Verhältnis am Ende dieser Phase Kohlenstoff und Sauerstoff da ist, kommt es darauf an, wie es weitergeht mit diesem Stern.

Wie viel von welchen Elementen macht er denn später?

Und das heißt, wie viel von welchen Elementen ist denn am Ende da, wenn dieser Stern, wenn er sehr massiv ist, ein großer, massiver Stern und zum Beispiel in einer Supernova endet, dann wirft er diese ganzen Elemente, die da produziert werden, ja raus.

Ja.

Und die, wie viel es jetzt von welchem Element gibt, kommt auch darauf an, was

da am Anfang passiert ist, als diese Kohlenstoff-Sauerstoff-Reaktionen stattfanden.

Wenn der explodiert, also Supernova, und die Elemente rauswirft, ist das der Moment, wo der Kohlenstoff auf den Planeten ankommt?

Oder ist der dann einfach nur unterwegs und wird irgendwann zum Planeten?

Der ist unterwegs und du hast jetzt Materie im Kosmos und diese kann jetzt, wenn es sich mit viel anderer Materie trifft und verdichtet zum nächsten Stern mit Planetensystem werden.

Also wenn wir jetzt auf das gucken in der nuklearen Astrophysik, würden wir jetzt ganz gern erklären, was zum Beispiel mit diesem Sonnensystem passiert ist.

Und das Sonnensystem ist vor ungefähr viereinhalb Milliarden Jahren entstanden.

Und zu diesem Zeitpunkt gab es eine gewisse Elementverteilung, die wir heute noch haben.

Wir haben ja hier nichts, was aktiv die Elementverteilung verändert, außer die Sonne.

Aber das ist ja in der Sonne.

Also das, was ich so über das ganze Sonnensystem messe, die Elementhäufigkeiten im Sonnensystem, die sind ja noch von vor viereinhalb Milliarden Jahren.

Und ich würde gerne wissen und erklären, was ist denn passiert vom Urknall bis zu diesen 4,5 Milliarden Jahren.

Vor 4,5 Milliarden Jahren.

Na, irgendwo muss es mal eine Supernova gegeben haben.

Nicht nur eine.

Das heißt, der Kohlenstoff, aus dem wir bestehen, entstammt einem Stern, der mal auseinander geflogen ist.

Nicht nur einem.

Nicht nur einem.

Das ganz vielen Sternen oder mehrere Sternengenerationen, die sich dann wieder vermischt haben, jetzt quasi wo wir mit unserem Sonnensystem im Universum sind.

Aus dieser ganzen Mischung seit dem Urknall erste Sterne-Generation, die zum Beispiel als Supernova explodiert, nächste Sternengeneration, macht weitere Elemente, macht immer aus leichteren, schwere Elemente.

Und irgendwann ist halt dieses Sonnensystem entstanden.

Aber so viel Sternengeneration wird es da gar nicht gegeben haben, oder?

Wie lange hält denn so ein Stern?

Die ersten Sterne waren relativ massiv.

Die halten gar nicht so lange.

Unsere Sonne hat ja vielleicht so acht bis zehn Milliarden Jahre.

Genau.

Also das ist in meiner Vorstellung ist das echt lang.

Wie ist das bei Astrophysikerinnen?

Ja, das ist jetzt schon auch lang.

So mittel.

Richtig.

Aber die ersten Sterne auf keinen Fall eine Milliarde Jahre haben die geschafft.

Okay.

Und dann hast du schon mal so zehn, zwanzig Generationen, könntest du das schaffen und mischen wieder.

Dann das Resultat an Elementen, was da rauskam, mischst du jetzt zusammen und zu dieser Verteilung, mit der wir hier im Sonnensystem leben.

Was ist eigentlich an Astrophysik anders als an Physik, frage ich mich.

Die ganze Zeit auf der Hinfahrt habe ich schon gedacht, so warum eigentlich Astrophysik?

Ist das nicht auch einfach nur Physik?

Letztendlich ist alles Physik.

Ja, das muss man wissen.

Kannst du, wenn du versuchst rauszufinden, wie das Zeug in unser Sonnensystem gekommen ist, kannst du denn überhaupt nachvollziehen, woher das gekommen ist?

Oh, woher finde ich eine ganz schwierige Frage im Universum.

Also aus der Nähe.

Es kann alles nicht sehr weit weg passiert werden, sondern in dieser Galaxie, in der wir sind, gibt es eben Regionen, wo es dichter ist, wo Sterne entstanden sind, weil viel Material an Gas- und Molekülwolken irgendwie da war.

Also Molekülwolken ist schon schwierig.

Aus Gaswolken und Staubwolken.

Da, wo sind Sterne entstanden und dann ist auch mal eine Phase, wo Regionen, wo es nicht genug Material ist, um sowas entstehen zu lassen. und wir müssen

also aus so einer Sternentstehungsregion gekommen sein, mit anderen Sternen auch in dieser Galaxie.

Ich überlege gerade, hingucken kann man ja nicht, ne?

Also...

Wo möchtest du hingucken?

Na, dahin, wo das entstanden ist.

Aber das funktioniert hier nicht.

Ich habe gerade diesen etwas, vermutlich ist es ein zu vulgärer Blick ins Universum.

Du guckst ja auch in die Zeit, wenn du in die Distanz guckst.

Richtig.

Aber in die Zeit gucken kannst du in diesem Fall nicht, oder?

Na, man schaut in der Zeit zurück, ja.

Aber kannst du zurückspulen und sagen, da war das Sternentstehungsgebiet, aus dem unser Sonnensystem gekommen ist?

Oh, da bin ich mir nicht sicher.

Eher nicht, ne?

Aber vielleicht könnte man es, wenn man...

An einem anderen Punkt im Universum ist.

Ja.

Oder wenn man die nächsten...

Eigentlich müsste es gehen, wenn man die nächsten Sterne sich anschaut und die Bewegungen, die die machen.

Ob die nicht zurückdeuten sozusagen, wenn ich die Verfolge zurückschaue, wo müssten die denn hergekommen sein?

Aber da bin ich...

Okay.

Warum ist das der heilige Gral der nuklearen Astrophysik?

Weil es einerseits um zwei Elemente geht mit Kohlenstoff und Sauerstoff, die für uns halt so wichtig sind, für das, was wir hier als Leben haben.

Und andererseits diesen Schritt, der ist die Grundlage für das, was weiter basiert mit Sternen, wenn die sich dann weiterentwickeln.

Wenn sie massiv genug sind, sodass sie nicht nur wasserstoffbreiten und Heliumbrennen machen, sondern dann weitergehen und Brennphasen durchlaufen, bis sie Eisen haben.

Dann legt das Verhältnis eben fest, wie es weitergeht.

Wie erforschst du das?

Was genau?

Naja, wie war das die Wahrscheinlichkeit, mit der das passiert?

Du kannst ja schlecht zum Stern hinfliegen und gucken und oder die ganze Zeit den Stern beobachten über 1,5 Millionen Jahre und sehen, was da los ist.

Also dazu benutzt du dann die Beschleuniger hier an der GSI.

Genau.

Dann sind wir wieder hier an der GSI, am Experiment.

Ja.

Und was jetzt diese Reaktionswahrscheinlichkeit angeht, ist so ein bisschen die Frage, welchen Ansatz hat man?

Also da näher heranzukommen, zu wissen oder herauszufinden, welche Wahrscheinlichkeit hat denn diese Reaktion in bei uns in unserem Feld?

Man versucht da heranzukommen und diesen Wert rauszukriegen. und was da schon gemacht wurde, ist jetzt, also ich will wissen, wie wahrscheinlich reagiert Kohlenstoff mit Helium.

Ja.

Also könnte ich zum Beispiel eine dünne Kohlenstofffolie machen und einen Heliumstrahl draufschießen.

Und dann muss ich irgendwie versuchen herauszufinden, wie oft die Reaktion stattgefunden hat.

Könnte man machen.

Man könnte es andersrum machen.

Man könnte sich in Gastagen aus Helium machen und einen Kohlenstoffstrahl draufschießen. wieder gucken, wie wahrscheinlich habe ich denn jetzt, wie oft habe ich Sauerstoff erzeugt für eine gewisse Anzahl an Strahlteichen, die ich drauf geschossen habe.

Das hat man auch gemacht.

Diese Methoden haben aber alle Probleme.

Also zum Beispiel, wenn du eine Kohlenstofffolie hast, dann will ich ja eigentlich die Reaktion mit Kohlenstoff 12 wissen.

Kohlenstoff 12. 12 gibt an, wie die Masse von diesem Atomkern ist, die ich da habe.

Kohlenstoff hat sechs Protonen.

Deswegen ist Kohlenstoff die Ladungszahl 6.

Und bei der Reaktion, um die es hier geht, gucken will ich nach Kohlenstoff 12.

Das kannst du jetzt auch wieder ausrechnen.

Wenn du sagst, ich habe viermal Helium, Helium 4, ist jetzt wieder diese Information mit der Masse, vier Masseteilchen im Kern von Helium.

Davon nehme ich drei zusammen, dann bin ich bei 12.

Deswegen habe ich Kohlenstoff 12.

Kohlenstoff 12.

Also möchte ich jetzt eine Messung machen.

Kohlenstoff 12, eben diese zwölf Nukleonen im Atomkern, wie man sagt, und schieße Helium 4 drauf.

Wenn du jetzt aber beliebigen Kohlenstoff auf der Erde nimmst, dann hast du nicht nur Kohlenstoff 12, sondern auch das Isotop, wie man das da nennt, eine andere Variante von Kohlenstoff und das Kohlenstoff 13.

Es ist so ein bisschen dabei, irgendwie so ein Faktor 1000 weniger, aber es ist dabei.

Das Problem ist, dass die Reaktion von Kohlenstoff 13 mit dem Helium extrem wahrscheinlicher ist.

Okay.

Dann passiert eine andere Reaktion.

Du kannst den Kohlenstoff nicht reinigen, sozusagen?

Hat man auch gemacht.

Da kriegt man schon mal irgendwie Faktor 100 bis 1000 besser.

Das macht es aber immer noch schwierig, weil die Wahrscheinlichkeit für die andere Reaktion so hoch ist.

Ich muss das jetzt trennen.

Das hat man gemacht, aber es ist nicht einfach.

Und so gibt es verschiedenste Methoden, die schon durchgeführt wurden in den letzten Jahrzehnten, um da eben jetzt diese Reaktionswahrscheinlichkeit rauszukriegen.

Aber du kannst doch nicht einfach hingehen.

Also da ist doch Stern, Riesending am Himmel.

Besondere Bedingungen herrschen da ja.

Wenn du jetzt sagst, ich möchte jetzt hier mit Kohlenstoffolie und schieße da ein bisschen Helium drauf.

Das sind doch nicht die Bedingungen im Stern.

Wie kannst du denn daraus ableiten, was da oben passiert?

Ich weiß es nicht oben, aber romantisch.

Relativ.

Ja, ja, ja.

Es kommt darauf die Reaktion an, wie schwierig es ist, von dem, was man im Labor macht, auf das zu schließen, was im Stern passiert.

Das kommt wirklich sehr darauf an in unserem Feld.

Das ist gar nicht so einfach.

Ich kann nicht in einem Satz so beantworten. aber für diese Reaktion sage ich jetzt mal, naja, da herrscht jetzt eine Temperatur im Heliumbrennen von mehr als 100 Millionen Grad.

Okay.

Also haben diese beiden Teilchen, die da unterwegs sind in dieser Temperatur, haben also eine gewisse Bewegungsenergie in diesem Stern. und jetzt muss ich ja für diese Bedingungen mit diesen Energien, also Relativenergie, eine Bewegungsenergie, die die beiden dort haben, dafür messe ich es jetzt im Labor.

Und dann habe ich ja schon mal die Info.

Das heißt, du machst sie genauso schnell, wie sie im Stern sind?

Ja, fast.

Das hat noch einen kleinen Hiccup, diese Reaktion.

Und jetzt geht es schon los.

Ja, ich würde jetzt eigentlich genau diese Energieverteilung nehmen, die dieser Temperatur entspricht, die dort herrscht.

Das ist aber nur die eine Sache, die dazukommt.

Das nächste, was dazukommt, wenn wir jetzt korrekt auf die Kernphysik gucken, die da passiert ist, du hast jetzt zwei Kerne, die geladen sind.

Das Helium hat zwei Protonen im Kern, also Ladungszahl zwei.

Kohlenstoff hat sechs Protonen im Kern, Ladungszahl sechs.

Die willst du aufeinanderschießen.

Die stoßen sich aber ab, weil die ja beide positive Ladungen drin haben.

Und das muss man jetzt mit berücksichtigen.

Und die Wahrscheinlichkeit, dass da was passiert, je schneller es ist, desto besser wärst, um jetzt diese Abstoßung zu überwinden.

Und wenn ich das jetzt kombiniere, diese Energieverteilung aufgrund der Temperatur und diese Wahrscheinlichkeit oder diese Möglichkeit, diese Abstoßung zu überwinden, dann komme ich drauf, wenn ich das eine andere Temperatur, wenn ich das umrechnen würde, wenn ich das umrechnen würde, eine andere Temperatur.

Kombination.

Es ist noch verhältnismäßig kalt fast schon beim Heliumbrennen, aber ich brauche hohe Geschwindigkeiten, um da durchzukommen durch diese Abstoßung. 300 kV.

Macht der Stern das denn auch bei 300 kV?

Ja.

So würde ich es nicht formulieren, sondern das ist das Fenster, wo diese Reaktion eben passiert.

Genau.

Genau.

Das passiert.

Insofern macht er es bei 300 kV.

Vielleicht kann man das doch so sagen.

Ja.

So.

Und jetzt hast du immer noch das Kohlenstoff-13-Problem.

Wie löst du das denn?

Oh, wir haben einen ganz anderen Ansatz für unsere Experten.

Wir machen es gar nicht erst mit Kohlenstoff.

Ja, doch.

Also.

Ja, wir haben uns da eine Methode genommen, die es auch schon eine Weile gibt und die hier an R3b, an diesem Experiment an der GSI, schon eine Weile gemacht wurde.

Was war das nochmal, die Abkürzung?

Reactions with Relativistic Radioactive Beams.

Mhm.

Wir haben das Erste, was wir gemacht haben, ist, wir schießen nicht Helium irgendwie auf Kohlenstoff oder Kohlenstoff auf Helium, sondern wir starten mit einem Sauerstoffstrahl und brechen den auf in die beiden Komponenten.

Also wir drehen die Reaktion um.

You lost me.

Also, du hast einen Sauerstoffstrahl, da läuft O durch die Gegend.

Und was machst du denn damit?

Erstmal durch den Beschleuniger.

Durch den Beschleuniger.

Da läuft er im Kreis.

Genau.

Und dann... Bei der Energie, wenn er die Energie erreicht hat, die ich gerne hätte, schießen wir den raus und schießen in unser Experiment.

Und jetzt bringe ich den dazu aufzubrechen in Kohlenstoff und Helium.

Den Sauerstoff?

Mhm.

Wie machst du denn das?

Wie mache ich das?

Ja.

Wenn du jetzt die Reaktion nochmal zurück anschaust, habe ich dir noch eins verschwiegen bisher?

Mit mir kann man es ja machen.

Ich verstehe eh nicht so, worum es mir geht.

Also ja.

Wenn du Kohlenstoff und Helium verschmilzt, kriegst du Sauerstoff.

Ja.

Und noch ein Lichtteilchen, ein Photon, das frei wird.

Das nimmt sozusagen überschüssige Energie mit.

Ja.

Ja.

Also das Sauerstoff, den du da kriegst, der ist angeregt.

Und der will jetzt auch energielos werden.

Und die wird mit diesem Photon weggetragen.

So, wenn ich jetzt diese Reaktion tatsächlich umdrehe, müsste ich ja jetzt doch Photon auf Sauerstoff schießen.

Ja.

Und das aufbrechen.

Und das reicht?

Für was?

Naja, ein Photon, du schießt ein Photon auf einen Sauerstoff und der macht Knack und dann hast du einen Kohlenstoff und ein Helium.

Ja, das ist noch nicht ganz das, was wir machen.

Wir haben keine reellen Photonen, die wir hier nutzen.

Wir machen es anders.

Wie gut kennst du dich mit elektromagnetischer Wechselwirkung aus?

Ich komm nochmal rein.

Ja.

Ja, das ist so.

Erklär es einem Zehnjährigen.

Schön.

Elektromagnetische Wechselwirkung.

Elektromagnetische Wechselwirkung.

Also zum Beispiel, das hatten wir ja vorhin schon mal, ich habe zwei positiv geladene Objekte, die sich abstoßen.

Ja.

So, warum?

Coulomb irgendwas.

Coulomb, richtig.

Coulomb Abstoßung.

Aber mehr weiß ich auch nicht.

Ja, aber warum die das machen, weiß ich auch nicht.

Diese Coulomb Abstoßung wird vermittelt über virtuelle Photonen.

Jede Kraft, die du hast, hat irgendwie ein Wechselwirkungsteilchen, das diese Kraft vermittelt.

Und für elektromagnetische Wechselwirkung ist es ein Photon.

Ein virtuelles Photon.

Warum ein virtuelles Photon?

Also, das bei uns ist dann die virtuellen Photon.

Also, du hast erstmal, das Wechselwirkungsteilchen ist ein Lichtteilchen von elektromagnetischer Strahlung.

Warum sehe ich es dann nicht?

Ne, anders.

Womit könnte ich es sichtbar machen?

Ja, gerade nicht.

Es ist kein reelles Photon.

Genau.

Genau.

Also, elektromagnetische Wechselwirkung wird vermittelt von Lichtteilchen.

Mhm.

So, und das nutzen wir jetzt.

Und diese virtuellen Photonen nutze ich aus.

Also, so ein Photon-Target ist ein Problem.

Also, ich könnte jetzt irgendwie eine Lampe hinstellen, aber das reicht ja nicht von der Energie her.

Also, für mich würde es reichen, aber ja.

Aber es reicht nicht, um so einen Sauerstoffkern aufzubrechen.

Ja.

Ich nutze was anderes.

Ich schieße den Sauerstoffstrahl des Sauerstoff 16 will ich ja.

Das kann mir die Beschleunigeranlage liefern.

Dieses eine Isotop, diese eine Variante von Sauerstoff schieße ich durch eine Bleifolie.

Warum Blei?

Ich suche was.

Das wird immer abenteuerlich.

Ja.

Ich hätte gerne ein Baumdiagramm jetzt.

Das ist sehr abenteuerlich.

Ich gebe es zu.

Aber Blei hat extrem viele Protonen im Kern.

Das hat eine hohe Ladungszahl.

Also, auch ein starkes Coulomb fällt um sich rum in diesen Atomkern.

Also, ich könnte auch Uran nehmen oder so, aber wenn wir da jetzt mit dem Uran-Target im Cave anfangen, das mache ich jetzt erstmal nicht.

Sondern wir nehmen was, was wir einfach handhaben können: Blei.

Ja.

Also, mache ich eine dünne Bleifolie hin und schieße da Sauerstoff drauf.

Und jetzt sind ja doch Atomkerne relativ leer.

Also, während so ein Atomkern...

Quatsch, ein Atomkern.

Ein Atom ist relativ leer.

Atomkern sind 10 hoch -15 Meter und die Hülle mit Elektronen draußen rum 10 hoch -10.

Also, fünf großen Ordnungen, wo eigentlich nichts ist.

Also, außer Wechselwirkung ist alles ein bisschen...

Ist da eigentlich wirklich nichts oder habt ihr es nur noch nicht gefunden?

Oh.

Gibt es da irgendwie, weißt du das, gibt es da irgendwie so Theorien?

Ich hätte jetzt gesagt, dass die Elektronen, die ich da in der Hülle habe, die haben ja gewisse Aufenthaltswahrscheinlichkeiten.

Das heißt, die sind da und nicht, sozusagen.

Ja, genau.

Aber trotzdem sind sie ja nicht gleichzeitig überall.

Naja, doch.

Das ist das Problem jetzt, ja.

Willkommen in der Quanten-Michale.

Ja, ja.

Nils Bohr rotiert im Grab.

Ja.

Zurück zu deinem O16.

Genau, den schießen wir jetzt da drauf.

Ja.

So, jetzt ist natürlich schon wahrscheinlich, dass der Sauerstoff Bleikern trifft, echt den Kern.

Okay, das passiert.

Da kümmern wir uns gleich drum.

Okay.

Ja.

Ja.

Ja.

Ja. wird er eben in diesem Coulomb-Feld von dem Bleikern durch so ein, kann man jetzt so beschreiben, ein virtuelles Photon von diesem elektromagnetischen Feld so angeregt, dass er aufbricht. und da sind wir jetzt endlich wieder da.

Und da sind wir jetzt endlich wieder da.

Ich schieße Sauerstoff rein durch diese Bleifolie, reg es in dem Coulomb-Feld vom Blei so an, dass es aufbricht in Kohlenstoff und Helium. das heißt aus der Folie fliegt hinten Kohlenstoff und Helium raus irgendwo.

Genau.

Mit einer gewissen Weise.

Also nicht jedes Sauerstoff-Kern, der da reinkommt, macht das auf keinen Fall.

Aber ein paar machen das, ja.

Habt ihr denn schon rausgefunden, mit welcher Wahrscheinlichkeit das passiert?

Ne, das müssen wir jetzt auswerten.

Das Experiment haben wir im April gemacht, aber das... Wie lange hat das gedauert?

Das Experiment selbst?

Nur ein paar Tage tatsächlich.

Wenn euresgleichen sagt, ein Experiment dauert ein paar Tage, ballert ihr dann tagelang O16 auf diese Bleifolie ohne Unterbrechung?

Ja.

So stelle ich mir das vor.

Genau.

Und was auch jetzt... Dann kam die riesige Schwierigkeit von diesem Experiment, was so das erste Mal an R3b gemacht wurde.

R3b ist normalerweise gemütlich, würde ich sagen.

Also da kommen so 10.000, vielleicht 100.000 Ionen pro Sekunde reingeschossen.

Das ist gemütlich.

Dann hast du vielleicht 10% Reaktionswahrscheinlichkeit von dem, was du sehen willst.

Also deine Detektoren sind nicht sonderlich beschäftigt in diesem Experiment.

Jetzt ist aber ja... Jetzt haben wir doch wieder auch das Problem für unser Experiment, dass die Reaktionswahrscheinlichkeit, das wissen wir schon, recht klein ist.

Und dass wir mit einem Setup arbeiten mussten vom Beschleuniger mit einer Milliarde Sauerstoff-Ionen pro Sekunde.

Das war jetzt schon mal die Herausforderung. also Größenordnung mehr an Ionen, die da plötzlich reinkommen ins Experiment.

Warum ist das so eine große Herausforderung?

Also wenn du eine Milliarde Teilchen pro Sekunde auf so einen Standarddetektor

schießt, den wir haben und den wir gerne benutzen, dann sieht der nichts mehr.

Also der kann vielleicht... Also der kann vielleicht... Das ist zu hell für den dann sozusagen.

Ja, quasi.

Also der kann so eine Million Teilchen pro Sekunde gerade so noch verarbeiten, aber mehr nicht.

Ja, dann musst du halt einen empfindlicheren Detektor bauen.

Ja.

Das kann doch so schwer nicht sein.

Aber wir hatten eine viel bessere Idee.

Ich sag dir, ein Baumdiagramm wäre sinnvoll.

Wir hatten eine bessere Idee.

Warum müssen wir denn diese Sauerstoff-Ionen überhaupt messen?

Ich will doch Kohlenstoff und Helium messen.

Ja.

Ja.

Was haben wir jetzt gemacht?

Wir haben die Detektoren genommen, die wir sonst nehmen und haben die auf Lücke gestellt.

Sodass der primäre Sauerstoffstrahl mit dieser eine Milliarde Teilchen pro Sekunde einfach erstmal durchfliegt.

Ja.

Und die Teilchen, die Reaktionsprodukte, Kohlenstoff und Helium aber eben mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit jetzt diese Fläche von den Detektoren treffen.

Mhm.

Und die kommen ja nicht so häufig.

Und jetzt brauchst du natürlich trotzdem musst du wissen, wie viele Sauerstoff-Ionen das denn eigentlich war, weil du ja eine Wahrscheinlichkeit willst. von denen eine Milliarde pro Sekunde, wie viele reagieren denn?

Das ist ja die Wahrscheinlichkeit.

Also ich muss sie zählen.

Aber das haben wir erst ganz am Ende mit einem speziellen Detektor gemacht, der solche hohen Raten kann.

Sind die dann auch vielleicht schon ein bisschen langsamer, sodass die sich leichter zählen, dass es fällt nicht ins Gewicht?

Nee.

Es ist auch nichts, was sie abbremst.

Wir haben alles in Vakuum und dann Lücken.

Also frügt wirklich durch nichts in Führungsstrichen.

Aber warum zählt ihr es dann nicht direkt am Hauptdetektor, wenn ihr es doch sowieso zählt, also den Sauerstoff?

Ja, aber dann passieren andere Dinge.

Dann werden die Sauerstoff-Ionen gestreut.

Stell dir mal vor, ein Prozent oder ein Promille von den Sauerstoff-Ionen wird gestreut.

Und das passiert schnell.

Dann habe ich trotzdem wieder eine Million Teilchen pro Sekunde in meinem Detektor.

Also das wollten wir nicht.

Wir wollten erst mal völlig ungehindert, haben wir den Sauerstoff durchfliegen lassen, bis ganz am Schluss, wo wir dann einfach mal einen Detektor haben, der es zählt, wieviel es sind.

Wie funktioniert die Detektion eigentlich?

Also wie funktioniert ein Detektor, der einzelne Kohlenstoffatome sieht?

Also zum Beispiel haben wir Detektoren, wenn ein Teilchen durchgeht, dann lässt es so ein bisschen Energie im Material.

Und damit kannst du das Material anregen.

Und dieses angeregte Material regt sich jetzt wieder ab und sendet Licht aus.

Und das kann man sich schon so ein bisschen vorstellen wie so ein Lichtleiter, dass das Licht, das ausgesendet wird, geht dann, also stell dir so einen dünnen Stab vor oder so eine ganz dünne Faser, wie wir sie benutzen.

Wie hier auf dem Tisch liegt.

Wie hier auf dem Tisch liegt.

Lichtleiter.

Genau, also irgendwo wird jetzt so eine Faser, eine Zintillationsfaser oder so eine Zintillationsfaser.

Eine was?

Zintillationsfaser.

Zintillation ist genau dieses Anregung durch Energieverlust von Teilchen.

Okay.

Und dann zintillieren diese Materialien.

Und jetzt wird, habe ich da Licht jetzt in dieser Faser zum Beispiel und das Licht geht zum Ende der Faser, wird einfach reflektiert wie in einem Lichtleiter.

Und am Ende muss ich jetzt nur noch dafür sorgen, dass das Licht nachgewiesen wird.

Und dann kann ich zumindest mal sagen, ohne jetzt Spezielleres zu nutzen, wenn da jetzt eine von diesen Fasern aufleuchtet, dann war da ein Teilchen.

Ah, okay.

Du hast eine Faser für Kohlenstoff, eine Faser für Sauerstoff, eine Faser...

Nee, Sauerstoff ja nicht.

Das ist ja jetzt nur exemplarisch.

Also du hast Fasern, die nur dann leuchten können, wenn Kohlenstoff kommt.

Nee, die leuchten bei jedem ionisierenden Teilchen, was durchfliegt.

Aber woher weißt du dann, dass es Kohlenstoff ist, wenn es leuchtet?

Ja, aus diesen Detektoren, mit diesen Faserdetektoren wird es schwierig.

Aber man kann das gleiche Prinzip benutzen, wenn ich einen dickeren Sintillator nehme, also zum Beispiel so einen halben Zentimeter dick oder so.

Dann hinterlässt das Teilchen so viel Energie beim Durchgang, dass ich das jetzt wieder in Form von Licht messen kann.

Und zwar unterschiedlich viel.

Es kommt darauf an, welche Ladung dieses Teilchen hat.

Also der Energieverlust in diesem Material ist davon abhängig, welche Ladung das Teilchen hat.

Und jetzt hat zum Beispiel Helium eine Ladung von zwei und Kohlenstoff eine Ladung von sechs.

Und das heißt, anhand der Lichtmenge, die ich sehe, kann ich dann sagen, welche Ladung es denn eigentlich hatte.

Kohlenstoff leuchtet heller.

Ja, quasi.

Auf gut Deutsch.

Ja, quasi.

In dieser Phase.

Ja, das was wir haben, ist so ein bisschen, ich habe das jetzt angeguckt, als würde man so eine Packung Spaghetti ausschütten und das alles so flach nebeneinander legen.

Genau.

So haben wir das Sintillationsfasern.

Sintillationsfasern.

Also es sieht aus wie Lichtleiter, die nebeneinander liegen.

Genau.

Weil wo ist eigentlich der Unterschied zwischen Lichtleitern und Sintillationsfasern?

Also Sintillation brauche ich jetzt noch diesen Effekt, ich brauche da jetzt ein Material drin, was sich eben anregen lässt und dann bei der Abregung Licht aussendet.

Also nicht nur Lichtleiten, sondern... Das heißt, das Ende meines Lichtleiters, also das Ende der Sintillationsfaser würde auch dann leuchten, wenn von draußen nichts rein... Also, nee, wie soll ich das erklären jetzt?

Genau, also... Normalerweise ist es ja so, dass an einem Ende ist eine Glühbirne und am anderen Ende macht es dann bunte Heizefeiz.

Ja.

Und das würde aber auch leuchten, wenn praktisch von der Seite entsprechende... Genau, also wenn da ein Teilchen durchfliegt durch die Faser und das Material da anregt, dann leuchtet die.

Leuchtet das jetzt, weil da Teilchen durchfliegen oder leuchtet das, weil es am anderen Ende mehr lichtet als da?

Ja, wir sitzen im Hellen.

Das ist genau das.

Im Experiment packen wir die Lichtdicht ein.

Ja.

Also dann hast du keine Lichtleitung von irgendwas von draußen und dann leuchten die nur auf, wenn ein Teilchen durchgeflogen ist.

Wie viele von diesen Fasern habt ihr dann nebeneinander?

Ist das dann... Also wir haben hier Detektoren gebaut, die hatten so 50 x 50 Quadratzentimeter Fläche und davon jetzt so zwei nebeneinander mit dieser Lücke, so muss man sich das vorstellen.

Und für die haben wir Fasern genommen, die quadratisch eine Grundfläche haben und davon tausend nebeneinander.

Also jetzt ne halber Millimeter breit, quadratisch, dann brauche ich tausend Stück um 50 Zentimeter aufzufüllen.

Das ist ordentlich.

Ja.

Jetzt wertet ihr aus.

Wenn ihr die Daten ausgewertet habt und sagen könnt, mit welcher Wahrscheinlichkeit Kohlenstoff entsteht.

Ich hätte mir das Baumdiagramm zeichnen sollen.

Mit welcher Wahrscheinlichkeit Kohlenstoff entsteht.

Ist das Experiment dann zu Ende?

Wissen wir als Menschheit sozusagen dann Bescheid oder ergeben sich daraus neue Fragen?

Wir wissen ein bisschen besser Bescheid.

Das war der Plan von diesem Experiment.

Also die Sache ist so ein bisschen, ich will das ja jetzt bei diesen Bedingungen, die zum Stern passen, nämlich zum Helium brennen im Stern.

Und das hatte ich, erinnerst du dich, das waren diese 300 kFV, die ich wollte.

Ja.

Genau.

Und die Experimente, die bisher stattgefunden haben, alle verschiedensten Methoden, die schaffen so bis zu 1 MeV aber nicht niedriger.

Also 1000 Kilo Elektronenvolt.

Und ich will aber zu 300 Kilo Elektronenvolt.

Da gibt es also noch eine Lücke, wo wir keine Daten haben, weil es einfach so schwierig ist dort zu messen, weil die Wahrscheinlichkeit so klein ist.

Also es gibt Daten bei höheren Energien, aber noch nicht da, wo ich eigentlich hin will.

Und wir hatten das Experiment jetzt so geplant, dass wir die Hoffnung hatten und die Vorhersage, also Computersimulation, die man vorher gemacht hat dazu, sagt, wir müssten eigentlich einen guten Datenpunkt setzen auch bei 800 kFV.

Also niedriger als das, was man bisher könnte.

Und wenn das Experiment funktioniert und es ist eigentlich nur eine Frage der Zeit sozusagen, es ist eine Frage von Statistik.

Wenn ich jetzt in Richtung dieser 300 kFV runtergehe, desto unwahrscheinlicher wird es halt.

Desto länger muss das Experiment laufen.

Müsste genau.

Jetzt so lange Strahlzeit zu bekommen, ist vielleicht ein bisschen schwierig.

Wie viel Strahlzeit bräuchtest du denn, um da unten zu messen?

Also jetzt habt ihr gerade mit 800 kFV gefahren?

Also um jetzt zumindest mal ein bisschen gute Statistik bei 800 kFV zu bekommen, war die Planung mit diesen einen Tag mit Blei-Target messen.

Wir müssen noch andere Messungen machen, deswegen insgesamt sechs Tage.

Also 24 Stunden lang schieße ich einen Sauerstoffstrahl auf unser Blei-Target und das müsste reichen, um zumindest mal einen ganz guten Datenpunkt bei 800 kFV setzen zu können.

Das war nicht der Plan.

Naja, ich weiß jetzt nicht, ob das jetzt exponentiell oder linear steigt, aber dann lass dir doch eine Woche Strahlzeit geben und mach mal kälter.

Ja, das wäre schön.

Also dieser eine Tag mit dieser Messung mit einem Blei-Target, das bringt aber leider auch mit sich, ich muss noch einen Tag mit einem anderen Target messen.

Mit was für einem und warum?

Ja, da war doch noch diese Sache, ich schieße jetzt einfach Sauerstoff auf Blei und wahrscheinlich ist eigentlich, dass es mit dem Bleikern reagiert und das ist nicht das, was ich sehen will.

Also es sind diese, der nukleare Anteil, also die Wechselwirkung mit dem Kern passiert halt auch.

Und jetzt muss ich mit einem anderen Target nochmal messen, um eigentlich nur einen nuklearen Anteil zu haben.

Also nehme ich ein ganz leichtes Target, Kohlenstoff oder Beryllium, ganz typisch.

Also Blei hat ja irgendwie Ladung 80, 82, oder 82 glaube ich.

Und also großes Kohlenstofffeld rundherum und diesen Atomkern.

Jetzt nehme ich was ganz leichtes, Kohlenstoff Ladung 6 zum Beispiel oder Beryllium, noch kleinere Ladung.

Das hat ein ganz kleines Kohlenstofffeld im Vergleich zu diesem Blei.

Aber trotzdem ja diesen Atomkern.

Und jetzt macht man das den nächsten Tag, nachdem man einen Tag mit Blei-Target gemessen hat, misst man einen Tag mit, bei uns in diesem Fall haben wir

bei uns für Beryllium entschieden.

Und misst mit dem Target und sieht jetzt nur diese Wechselwirkung mit dem Kern.

Weil das Kohlenstofffeld so klein ist, das kannst du vernachlässigen.

Und dann ziehe ich das ab.

Okay.

Das war jetzt der eine Tag.

Der nächste Tag.

Genau.

Tag drei.

Es gab noch mehr Tage.

Ich habe mir das gemerkt.

Tag drei.

War, misst man mit Leertarget.

Also ich nehme einfach mal das Target raus und gucke, was messe ich denn, wenn ich kein Target drin habe.

Weil ich anderes treffe.

Also du hast ja hinten auf deinen Sauerstoffdetektor ganz am Ende stehen.

Ja, der dürfte eigentlich nicht viel machen, aber man trifft halt auch noch andere Dinge, die so irgendwie, dann streift man doch mal irgendwie eine Halterung oder streift mal dann doch die Kanten von diesen Faserdetektoren, die wir da stehen haben, die eigentlich auf Lücke stehen, aber man streift die Kanten.

Also irgendwas passiert, obwohl du kein Target drin hast, auch.

Du kannst deinen Sauerstoffstrahl nicht so gut bündeln, dass du die Lücke einfach triffst?

Ja doch, das fiese ist, aber man kann ihn schon sehr gut bündeln, ja.

Aber so ein Strahl, der kommt, der hat auch so ein Halo von Teilchen um sich rum.

Und das sind, naja, selbst wenn es nur ein Promille der Teilchen ist in diesem Halo, ist das bei uns ja immer noch eine Million.

Ja.

Das ist unangenehm.

Muss man ganz klar sagen.

Wir hatten eigentlich gedacht, genau, eigentlich müssten wir kein Empty messen.

Wir haben ja nichts im Weg stehen bis ganz hinten, aber das... Und?

Nein.

Doch, wir haben auch andere Dinge getroffen, ja.

Tag vier?

Tag vier.

Also diese Einheit von drei Tagen schließt jetzt erstmal das ab.

Ja.

Tag vier bis sechs wäre ideal gewesen, wenn wir mit unserem Experiment nochmal mit einer anderen Energie vom Sauerstoffstrahlmess hätten messen können.

Das wäre schön gewesen.

Schön gewesen.

Zum Beispiel mit welcher?

Doppelte Energie.

Also wir hatten, wir haben jetzt gemessen mit 500 MeV pro Nukleon mit dem Sauerstoffstrahl, der reinkam.

Und wir hätten gern nochmal gemessen mit 800 bis 900 MeV pro Nukleon.

Und dann kannst du noch ein bisschen mehr über diese Reaktionen lernen.

Wenn du jetzt wirklich in die Kernphysik reinguckst von dieser Reaktion, welche Eigenschaften haben denn jetzt wirklich die angeregten Kerne?

Wie regen die sich ab?

Wenn du da jetzt nochmal die Parameter, die Energie vom Strahl änderst, könntest du darüber auch noch was lernen.

Hatten wir jetzt aber leider nicht die Zeit dafür bei diesem... Das heißt, ihr habt tatsächlich nur drei Tage gehabt?

Ne.

Ja.

Okay.

Also man muss jetzt anfangen, genau.

Ich brauche jetzt drei Tage für die eine Energie.

Dann brauche ich ein bisschen Zeit, um überhaupt mal den Sauerstoffstrahl so einzustellen, wie wir den brauchen.

Und das fängt an beim Beschleuniger.

Also die Beschleunigeranlage muss Sauerstoffstrahl einstellen von der Quelle aus.

Die muss den Sauerstoffstrahl durch den Linearbeschleuniger schicken.

Die muss ihn dann durch den Kreisringbeschleuniger schicken.

Das dauert so seine Zeit, bis der da mal dann durch ist.

Bis es hochgelaufen ist.

Genau.

Dann muss die Intensität hochgehen auf eine Milliarde pro Sekunde.

Damit fängt man nicht an.

Also man fängt so vielleicht mit  $10^5$ , also 100.000 pro Sekunde an.

Dann muss die Intensität hoch.

Das dauert alles so seine Zeit.

Die Produktion, in Anführungszeichen, des O<sub>16</sub>... Also es steht hier nicht eine Flasche Sauerstoff rum, die ihr dann auftritt... Ja, ich stelle mir das immer so vor, ehrlich gesagt.

Wie macht ihr das?

Also ich mache das nicht... Wird das auch in Beschleuniger hergestellt dann?

Nein, das ist eigentlich fast... Du bist gar nicht so falsch.

Ach, echt?

Ja, es gibt eine Ionenquelle.

Verschiedenste Typen.

Ich weiß gar nicht, welche von sich für Sauerstoff jetzt exakt genommen haben.

Wo du ja irgendwie das Gas schaffst.

Also du hast im Prinzip... Du hast Sauerstoffatome, wie wir sie so haben.

Sauerstoff 16.

Jetzt musst du es noch schaffen, die Elektronen wegzunehmen aus der Hülle, damit du den geladenen Kern hast und den kannst du beschleunigen.

Ah, okay.

Wie lange hat das Experiment insgesamt gedauert?

Was würdest du jetzt insgesamt sagen?

Naja, Vorbereitung, euch auch mal überlegen.

Also ihr werdet ja vorher ziemlich viel Theorie gemacht haben.

Ganz am Anfang, ja.

Da muss man sich überlegen, genau, wie lange muss ich denn eigentlich messen?

Wie seid ihr überhaupt auf die Idee gekommen, es genau so zu machen?

Es gibt diesen Vorschlag, diese Methode zu nutzen für dieses Experiment, tatsächlich schon aus den 80ern von den Kollegen aus der Theorie in der nuklearen Astrophysik.

Und warum hat das noch niemand gemacht, wenn es doch darum geht, den heiligen Rahl zu finden?

Ja, das stimmt.

Aber jetzt mit... So wie die Anlage jetzt hier ist, geht es jetzt eigentlich das erste Mal an der GSI.

Also so hochintensive Sauerstoffstrahlen bei dieser Energie und jetzt dieses neuartige Setup, das wir jetzt haben, das haben wir jetzt mal... Das hatte ich jetzt mal so alles zusammengefügt.

Und jetzt insgesamt... Ja, ihr hattet bisher die Werkzeuge nicht, sozusagen.

Ja, so in Kombination, ja, genau.

Und das sind ungefähr drei Jahre, würde ich sagen.

Von dem ersten Mal, dass man wieder darüber nachdenkt, jetzt auch der Gruppenleiter aus Frankfurt tatsächlich mit hier dem lokalen Sprecher von der GSI, Michael Heil, der jetzt das Experiment sozusagen federführend hier gemacht hat.

Ja, da spricht man dann wieder drüber und sollen wir das nicht jetzt doch mal machen und jetzt haben wir doch die Bedingungen und ja, so entwickelt sich das dann so langsam.

Und wie lange habt ihr auf die Strahlzeit warten müssen?

Das ist doch auch mal furchtbar lange, oder?

Ach, es ging.

Man stellt diesen Vorschlag für ein Experiment ja dann hier von einem Expertengremium vor, das darüber urteilt, ob das gut ist, ob das so funktionieren kann, ob man das durchführen sollte oder nicht.

Und das war so im Spätsommer 2017.

Zwei Jahre?

Und wie lange braucht ihr denn jetzt für die Auswertung?

Ist das schwierig oder habt ihr da schon eure Excel-Tabelle fertig?

Excel-Tabelle?

Er hat das böse Wort gesagt.

Mehr kann ich nicht programmieren, darum referenziere ich immer darauf.

Also es gibt schon Experimente, die könnte man mit Excel auswerten, aber das hier definitiv nicht.

Okay.

Ja, aber nicht diese Datenmengen, über die wir hier reden, sondern wir nutzen eine Software-Umgebung, die vom CERN auch ursprünglich kommt, ruht.

C++ programmiert, basiert, also von der Programmiersprache her, ja.

Und das sind wir aber auch gerade in der Phase, wo jetzt das R3B als Experiment so seit auch zwei bis drei Jahren eine Umstellung macht ihrer Software, also der Analyse-Software auf dieses R3B-Rot.

Das heißt, während man jetzt schon die Daten guckt, entwickelt man aber eigentlich auch die Software.

Also du musst, es ist ja auch noch so, es war ja vor diesem Experimentblock, den wir hatten, auch lange Phase jetzt hier leider kein Experiment an der GSI.

Stimmt, hier war ja ewig Bauarbeiten und, ja, genau.

Genau, also das war jetzt auch der erste größere Experimentblock, der wieder kam für alle.

Das heißt, du hast einfach auch keine hochentwickelte Software, die schon seit Jahren im Einsatz ist, sondern du hast jetzt viele neue Detektoren, die müssen alle da eingepflegt werden in die Analyseprozesse und so weiter und so fort.

Also das lief jetzt auch schon die letzten Jahre mit und jetzt, wo du es anwendest, stellst du natürlich fest, ah, das brauche ich noch und das brauche ich noch und da müssen wir noch genau.

Wie es halt so mit Plänen ist.

Genau.

Wie lange denkst du denn, werdet ihr da sitzen, bis ihr das Ergebnis habt?

Das Ergebnis?

Ja, also eigentlich würde man sich ja wünschen, wir haben jetzt hier alles fertig, hier Messung, Daten in den Computer, compute this und zack kommt hinten eine Zahl raus.

Ja, es ist so ein bisschen die Frage, also das Ergebnis wird es jetzt leider aus diesem Experiment nicht geben.

Also diese 800 kV Datenpunkt, sind wir ehrlich, den werden wir nicht schaffen.

Dafür hat die Statistik nicht gereicht, die wir hatten.

Also wir hatten zum Beispiel leider gar nicht diesen Tag mit Messung mit Bleitag, den wir gewünscht hätten.

Das ist alles so ein bisschen die Frage, funktioniert es so, ist es die Strahlqualität, die du brauchst, um damit zu arbeiten, um wirklich auch die Statistik wegschreiben zu können mit deiner Datenaufnahme, die du brauchst.

Und das hat leider nicht so funktioniert.

Ja, aber warum habt ihr das denn dann überhaupt gemacht?

Weil wir dachten, das funktioniert.

Also idealerweise, wenn alles perfekt... Das war unser Plan.

Nein, nein, nein.

Wenn alles perfekt gelaufen wäre, hätte das funktioniert.

Also jetzt ist der Stand so, wir werden diese ganz niedrigen Energien jetzt, wo wir so einen neuen Datenpunkt schaffen, werden wir jetzt nicht schaffen.

Da reicht es einfach nicht.

Von der Menge an Reaktionen bei dieser Energie, die haben wir einfach nicht auf Tape, muss man ganz klar sagen.

Das heißt... Scheiße, wenn ich das mal so sagen darf.

Das heißt scheiße.

Das heißt, ihr hättet einfach nur einen Tag länger laufen lassen müssen, dann hätte es geklappt?

Auch nicht.

Auch nicht.

Dafür haben die Bedingungen, waren einfach nicht so gut, wie wir sie bräuchten.

Woran ist es denn dann gescheitert?

Also was waren die... oder wie hätten die Bedingungen sein müssen, wie waren sie nicht?

Also was zum Beispiel ein Problem war, wo wir jetzt im Herbst dran arbeiten werden, um das zu verbessern mit der Beschleunigeranlage zusammen, ist idealerweise eine Milliarde Strahlteilchen pro Sekunde ist jetzt auch ein Viel.

Und du willst die auch dann, die Reaktionen, die stattfinden, davon irgendwie wegschreiben mit mehrere zehntausend pro Sekunde.

Also das war ja das... Gut, ich schicke da eine Milliarde pro Sekunde rein, aber da passiert ja relativ wenig, was mich interessiert, vergleichsweise, anteilmäßig.

Und jetzt würde ich aber doch hoffen, dass immer so, rechnet ihr es jetzt aus, alle neun Sekunde so ein Sauerstoff kommt.

Das ist aber leider nicht so.

Sondern da kommen mal so zwei, drei, dann kommen mal so fünf, dann kommt mal eins, immerhin abstellen.

Also du hast keine glatte Verteilung.

Ja.

So, jetzt stell dir vor, ich werfe dir jetzt einen Ball zu, alle fünf Sekunden, das schaffst du zu fangen.

Da schlafe ich irgendwann mal ein.

Ja, jetzt werfe ich dir mal fünf zu und mal drei zu und mal zehn zu.

Das schaffst du wahrscheinlich nicht mehr zu fangen.

Die detektiere ich dann nicht so gut.

Nee.

Und das hat uns so ein tatsächliches Problem gemacht, dass wir jetzt, selbst wenn quasi die Menge da war an Reaktionen, aber wir konnten sie nicht wegschreiben.

Das ging dann einfach nicht, weil das System beschäftigt ist.

So wie du jetzt, ich schmeiße zehn Bälle auf dich, du bist beschäftigt, einen zu fangen, aber die anderen neun fallen irgendwo.

Wie der Digitalfoto-Aparat nach Serienbildern erstmal speichern muss.

Ja.

Zum Beispiel.

In der Zeit kann er kein Foto machen, ganz genau.

Hättet ihr euch das nicht denken können?

Das ist eine gemeine Frage.

Ich weiß.

Ach nee.

Nee.

Da lief auch, wir mussten auch leider in der ganzen Phase von den sechs Tagen nochmal eine Entscheidung treffen, eine andere Beschleunigereinstellung zu verwenden.

Weil es denen erstmal nicht so lief, wie wir wollten und dann kam der Vorschlag, dann nehmen wir doch die andere Einstellung.

Und diese andere Einstellung hat aber jetzt auch nochmal die Verschlechterung mit sich gebracht, dass immer mehr solche Teilchenpakete statt gleichmäßig verteilt kamen.

Also es hat die Situation für uns deutlich verschlechtert.

Aber auch Simulationen vorher hat gesagt, die kommen gleichmäßig da raus.

Nee, man macht das in einer gewissen Verteilung.

Okay.

Also gleichmäßig ist klar, das kommt nicht.

Also davon ist mal auszugeben.

Man nimmt eine gewisse statistische Verteilung dafür an.

Und damit hätte es funktioniert, genau.

Also das ist jetzt ein ganz großes Ding, wo wir jetzt wieder Schwung holen.

Es gibt hier an der Maschine, an der GSI im Herbst einen Engineering Run, also eine Maschinenstrahlzeit, wo es darum geht, die Maschine weiterzuentwickeln, die Beschleuniger.

Und wo wir uns das angucken werden.

Also wo wir zusammen mit der Beschleunigerabteilung da schauen werden, dass wir diese Bedingungen verbessern, dass das gleichmäßiger verteilt kommt, die Ionen zu uns.

Da sind wir jetzt gerade in den Vorbereitungen dafür, dass wir da wieder jetzt Detektoren hinstellen, die genau die Informationen liefern, die die brauchen.

Und dann kann man versuchen, die Maschine zu optimieren, dass es gleichmäßiger wird.

Für die zukünftigen Experimente immerhin.

Aber es kann ja genauso gut sein, dass es trotzdem nicht gleichmäßiger wird.

Und dass trotzdem zehn Bälle kommen und dann drei und dann einer.

Also ich habe die Hoffnung, dass das jetzt besser wird.

Ja, Hoffnung stirbt zuletzt.

Richtig.

Aber wäre es nicht schlauer?

Also ich habe das so verstanden, die Daten kommen so erratisch da rein, dass die Leitung, die die Daten auf die Festplatte schreibt, nicht groß genug ist.

Nee, die Leitung ist nicht das Problem.

Die Elektronik ist das Problem.

Die Elektronik.

Also du, die da sitzt und jetzt versucht, irgendwie Bild zu verarbeiten.

Genau, wie dein Fotoapparat.

Du musst jetzt mal kurz dieses Event nehmen und verarbeiten.

Ja, aber da kann ich eine schnellere Speicherkarte reinmachen.

Aber nicht unendlich.

Irgendwann ist dann auch mal Schluss.

Und ihr seid zu schnell.

Nee, zu langsam sozusagen.

Also wir müssen eine deutlich höhere Rate verarbeiten können.

Ja, das meine ich.

Ja.

Aber das ist nicht schlimm.

Also dieses Experiment bringt, wir hatten eigentlich, dieses Experiment hatte so drei Pfeiler, auf denen es stand.

Das eine war diesen niedrigen, Datenpunkt bei niedriger Energie.

Der wäre natürlich super gewesen.

Aber wir haben auch noch zwei andere Dinge.

Und das ist, es gibt ja Daten für diese Reaktion bei höheren Energien.

Das heißt, wir können jetzt erstmal die Daten nehmen und schauen, eigenen Daten, ob das alles passt.

Können wir unser Experiment denn wirklich so gut?

Das ist ja natürlich eine Annahme.

Ich gehe da mit rein und kann nie sagen, ob es wirklich so gut ist wie vorher.

Und jetzt gibt es aber so gute Daten zwischen, sagen wir mal, ein und drei MEV.

Also das ist ein deutlich höherer Energiebereich jetzt, wo wir auch definitiv genug Statistik haben.

Also wir können mit unserer sehr guten Statistik bei den hohen Energien mit dem vergleichen, was es schon gibt für die Reaktion.

Also da können wir jetzt auf jeden Fall sagen, ob wir das können oder nicht.

Und dieser Typ Reaktion sich anzuschauen mit diesem Aufbau mit Lücke und so ähnliches.

Das erste Mal passiert, das erste Mal gemacht worden an R3b.

Jetzt gucken wir mal, ob das so funktioniert hat.

Und es gibt noch was Schönes, was wir jetzt gemacht haben.

Es wurde schon mal mitgemacht, aber noch nicht so explizit, wie wir es jetzt gemacht haben.

Ich habe gesagt, wir messen mit Bleitarget für diese Wechselwirkung vom Strahl mit dem Coulombfeld.

Ich messe dann mit einem Kohlenstoff- oder Beryllium-Target, um nur die Wechselwirkung zwischen Kernteilchen zu haben.

Ja, kann ich das wirklich einfach abziehen?

Ist so eine Frage.

Ja.

Was wir jetzt noch gemacht haben, ist so ein mittelschweres Target zu nehmen.

Wir haben ZIN-Target genommen.

Das ist gerade so auf der Hälfte von der Ladungszahl.

Und da mischt sich also beides.

Und da haben wir jetzt auch auf jeden Fall genügend Statistik, was wir auch bisher bei Experimenten noch nicht so hatten an R3b, wo wir uns auch das angucken können.

Verstehen wir das denn wirklich, was wir da machen?

Diese absurde Idee eigentlich da.

Ich drehe die Reaktion rum.

Ich schieße auch noch irgendwie auf so ein Feld, statt auf, ich schieße irgendwie mit Photonen drauf.

Das werden wir uns jetzt alles in Ruhe angucken mit den Daten, die wir haben.

Und das geht auf jeden Fall.

Das heißt, das nächste Mal, wenn ihr an den Start geht, gehst du davon aus, dass du deinen Datenpunkt, Datenpunkt warst, wesentlich niedriger setzen kannst?

Das kommt jetzt darauf an, wie viel Strahlzeit wir kriegen.

Also wenn wir jetzt wirklich sagen, guck mal, unser Experiment hat super funktioniert.

Also im Grunde war es ein Proof of Concept, was ihr da gemacht habt.

Leider jetzt letztendlich ja.

Mit dem Datenpunkt, der uns jetzt fehlt, ist es jetzt ein Proof of Concept.

Und jetzt gehen wir auf jeden Fall nochmal dran.

Habt ihr das vorher gewusst oder geahnt oder zumindest eingeplant?

Oder wart ihr am Ende dann doch enttäuscht?

Wir waren enttäuscht tatsächlich.

Aber es ist okay.

Es war einer von den drei Dingen, die wir mit dem Experiment machen wollten.

Das hat dann leider nicht funktioniert.

Das gibt uns jetzt aber zumindest mal die Chance, diesen Typ Experiments erst einmal gemacht zu haben.

Wir gucken uns jetzt an, ob wir es können.

Wir gucken uns jetzt an, ob diese Idee stimmt.

Ich kann den nuklearen Anteil abziehen da einfach, indem ich mit dem Beryllium-Tag noch messe, ob das alles funktioniert, ob das passt von der Theorie her mit den Daten.

Ja, und dann optimieren wir natürlich, also natürlich machst du so ein Experiment mit neuen Detektoren und denkst, oh, bei diesem Detektor funktioniert das noch nicht so ganz und bei diesem Detektor könnte man das noch verbessern und hier ist noch ein Verbesserungspotenzial.

Und das werden wir jetzt alles machen.

Und dann ist unser Plan auf jeden Fall, das nochmal vorzuschlagen.

Und das wäre auch nicht die einzig interessante Reaktion.

Also es ist zwar jetzt so der heilige Gral der nuklearen Astrophysik, aber es gibt in dieser Idee dieser Fusionsreaktion, die eigentlich immer dieses Problem haben, direkte Messungen haben, Schwierigkeiten.

Die Reaktionswahrscheinlichkeiten, wissen wir, sind sehr klein.

Also mit dieser Methode könnte man sich auch noch andere interessante Reaktionen angucken dann in Zukunft.

Welche?

Also was wir gedacht haben, würde uns mal interessieren, ist Kohlenstoff plus Kohlenstoff.

Also Kohlenstoff 12 plus Kohlenstoff 12 ist auch so eine schwierige Messung direkt.

Naja, und jetzt nehme ich, jetzt muss ich mal gucken, Magnesium-24, wenn ich mich nicht täusche.

Breche es auf.

Genau, wir wissen jetzt, wie es geht.

Genau.

Bisschen Blei.

Also es gibt dann auch diese Fusion mit Heliumfusion bei auch anderen Kernen.

Das wäre schon interessant, das auch bei anderen nochmal zu machen dann in Zukunft.

Ob das so klappt, ob das die Expertengremium dann sagt, ja super, mach das.

Man ist in harter Konkurrenz, muss man ganz klar sagen, an so einer Anlage.

Stellt ihr euch mit eurem Experiment dann eigentlich nur hier in Darmstadt vor oder überall, wo das theoretisch möglich wäre, weil die richtigen Beschleuniger da stehen?

Man würde es auch woanders probieren, aber die Bedingung, die ist tatsächlich

die GSI, die einzige Anlage, die uns genau das liefert, was wir jetzt so brauchen.

Weltweit.

Die Experten bei der Energie, ja.

Respekt.

Wie bist du dazu gekommen, genau das zu machen?

Zufällig.

Ich habe das alles nicht gewollt, euer Ehren.

Ich bin, also meine ganze Physiklaufbahn ist zufällig.

Ich habe zum Beispiel erstmal zwei Semester Maschinenbau studiert.

Oh, das haben sie ja alle.

Wobei die meisten Kinder machen dann nach BWL, weil da muss man nicht denken.

Nein, dann habe ich mir gedacht, nee, Physik.

Und dann habe ich Physik angefangen und dann bin ich in einem Tutorium, also von dem Übungsleiter, den wir da hatten, angesprochen worden, ob ich nicht Lust hätte, mal irgendwie hier so als Werkstudentin an der GSI zu arbeiten.

Ja, gut, Geld, ein bisschen Geld in dem Studium ist auch nicht so schlecht, klar, warum nicht.

Und dann habe ich hier angefangen beim Experiment Hades.

Welches war das?

Also welches ist das?

Welches, also Hades ist das Nachbar-Experiment von R3W, muss man ganz klar

sagen.

Beschäftigt sich damit, was passiert, wie verhält sich Materie, wenn sie heißer und dichter wird als normale Materie, so von der Physik her.

Und da habe ich mich aber auch mit Detektoren beschäftigt, die weiterzuentwickeln, zu optimieren für Strahlzeiten und da Eigenschaften rauszufinden und so Sachen gemacht.

Und das habe ich dann auch gemacht als Bachelor und Master.

Und dann war aber klar, ich möchte was anderes.

Dann habe ich kurz überlegt, ob ich nicht in der Didaktik promoviere.

Das hat sich aber auch aus Finanzierungsgründen von der Stelle nicht ergeben.

Und dann hat ein Bekannter gesagt, ach, geh doch mal zum René, der ist hier ganz neu an der Uni Frankfurt als Professor, der macht Astrophysik.

Geh doch mal hin, ob der nicht eine Promotion für dich hat.

Ja, und dann war ich also eine Stunde zum Kaffee bei René und da bin ich geblieben.

Worüber hast du promoviert?

Über tatsächlich ein ähnliches Experiment.

Auch dieses, ich schieße was auf dem Bleitarget und lasse es aufbrechen mit einem Molybdenstrahl.

Die Daten, die gab es schon und ich habe die ausgewertet.

Und jetzt wieder so eine Reaktionswahrscheinlichkeit bestimmt.

Wenn ich mir jetzt hier die, ich habe es vergessen, Lichtleiter angucke.

Am Ende bist du beim Maschinenbau geblieben, oder?

Ja.

Ich muss sagen, ich habe es auch gedacht, während ich dann immer da saß und konstruiert habe am Computer, die zwei Semester Maschinenbau haben, schon was auch gebracht.

Das ist super.

In der Experimentalphysik, also man kann natürlich sich überlegen, Experimentalphysik, ich werte Daten aus oder ich baue halt Detektoren.

Und mit dem, offensichtlich macht mir es ja so ein bisschen Spaß, bauen und dann mit den Entwürfen in die Werkstatt gehen, optimieren.

Dann bauen die einem das in der Werkstatt und dann hat man so einen Detektor vor sich und dann legt man diese Fasern, die du hier siehst, irgendwie nebeneinander dann da rein und hat dann so Faserfläche, verklebt alles.

Diese Detektoren, die dann Licht in elektrisches Signal umwandeln, dran und nachher stellst du den hin, hast kosmische Strahlung ja sowieso, schaltest den Detektor an und siehst was.

Das ist schön.

Das ist schon cool.

Gibt es, wenn du da so einen Spaß dran hast, gibt es so den Detektor, den du immer schon gerne mal bauen würdest, aber niemand finanziert es dir?

Gibt es so die...

Ich würde ganz gerne...

Tatsächlich, diese Faser-Detektoren finde ich hochinteressant und wir haben jetzt hier Fasern, das, was wir verwendet haben, die sind durchsichtig.

Also es ist quasi ein Stück Plastik.

Die gibt es aber zum Beispiel auch schon von der Firma weg mit einer schwarzen Ummantelung, was natürlich besser ist, so was Lichtwechselwirkungen zwischen den Fasern angeht und ähnliches.

Kostet halt mal so einen Faktor, ich weiß nicht, vier bis fünf mehr.

Also da würde ich gerne mal Detektoren draus behalten.

Da muss man aber ehrlicherweise sagen, so ein Detektor kostet dann halt mal, ich weiß nicht, 200.000 Euro.

Na gut, dann musst du ja nur ausdenken, welchen Heiligen gerade damit finden willst.

Dann gut vortanzen und dann krass es Strahlzeit.

Das wird schon schwierig.

Kann man aus dem...

Also das ist ja Grundlagenforschung, was hier passiert, aber ich habe irgendwie die ganze Zeit das Gefühl, dass man aus diesen Fasern auch wirklich Alltagsanwendungen irgendwie ableiten kann.

Oder machen wir das vielleicht schon?

Für den Alltag?

Irgendwas zu detektieren.

Blutdruck.

Und mit den Faser-Detektoren, die sind glaube ich sehr speziell.

Nicht nur in der Grundlagenforschung, man verwendet die teilweise auch in der Medizintechnik, habe ich zumindest neulich mal gesehen, als ich auf der Suche war nach oder rauszufinden, wie viel diese anderen Fasern kosten.

Ja, aber im Alltag diese Fasern glaube ich nicht.

Also doch nur lustige Lampen draus bauen.

Die hatten wir schon, genau.

Da war ich klein.

Die 70er Jahre lassen grüßen.

So, und wenn du keine Wissenschaft baust, Dann vermittelst du die, habe ich gelesen.

Du hältst auch Vorträge an Schulen.

Ja.

Worüber?

Über das, was wir hier machen.

Über genau das?

Ja.

Also quasi jahresaktuell das Experiment, das mich gerade am meisten beschäftigt.

Das erzähle ich doch noch einfach.

Was für Experimente waren das denn bisher?

Ich hätte jetzt gedacht, das wäre so dein Lebenswerk bisher gewesen.

In den letzten zwei Jahren, ja.

Okay.

Genau, aber man macht zugegebenermaßen parallel auch andere Sachen.

Also so in Frankfurt machen wir zum Beispiel was, auch die nukleare Astrophysik, genau.

Aber jetzt weg von diesen Fusionsprozessen, die Sterne erstmal machen.

Also die leichten Elemente zu was Schwerem bauen und dabei Energie gewinnen, machen so Sterne halt erstmal.

Und das bis Eisen.

Du hattest gerade so, und das kann ja jeder Gesichtsausdruck.

Sehr schön.

Kann jeder Stern, genau.

Genau.

Aber die Elemente von Eisen bis Blei oder so, die müssen ja auch irgendwo herkommen.

Und die kommen dadurch...

Uran lange liegen lassen.

Ja.

Wo kommt das Uran eigentlich her?

Ja.

Ja, find's doch raus.

Du bist die Wissenschaftlerin.

Genau.

Aber es gibt Prozesse, wo du zum Beispiel Neutronen hast in der Sternphase plötzlich.

Freie Neutronen, die sind ungeladen. die kannst du mit relativ wenig Bewegungsenergie an Kernen anlagern, die schon da sind.

Zum Beispiel an Eisen.

Jetzt habe ich also einen Eisen.

Kern lagert Neutronen an.

Vielleicht ist der stabil, kommt drauf an, welcher es ist.

Wenn es stabil ist, lagere ich noch ein Neutronen an.

Wenn es jetzt langsam mal...

Ich erreiche irgendwann einen Kern, dann der instabil ist.

Und der wandelt sich um über einen Wetterzerfall ins nächst schwerere Element.

Wetterzerfall ist ein radioaktiver Zerfall.

Das ist ein radioaktiver Zerfallstyp, genau.

Und was da passiert im Kern, irgendwann ist der Kern so, es ist ungünstig, dass er so viele Neutronen hat.

Und bei diesem Zerfall, Beta-Minus, wandelt er ein Neutron in Proton um.

Das ist günstiger energetisch.

Das macht der einfach so.

Wie macht der das?

Ja, wie?

Wie?

Also, es geht.

Es geht.

Ach so.

Ach so.

Ja, wie ist eine gute Frage.

Es ist energetisch günstiger.

Auch wenn du ein freies Neutron hast.

Also wenn jetzt hier ein freies Neutron im Raum wäre, würde das so ungefähr nach 15 Minuten, ne, Halbwertszeit, sich umwandeln in Proton, weil es günstiger ist.

Okay, ach so.

Es ist für das Neutron günstiger, nicht für den Kern.

Ich habe das so verstanden, dass der Kern das umwandelt.

Der sagt jetzt so, du?

Ne, das Neutron, mit dem Neutron passiert ist und für den Kern insgesamt ist es auch energetisch günstiger.

Ich dachte, der Kern würde das in irgendeiner Form anstoßen, diesen Effekt.

Ne, okay, dann.

Das ist eine Frage von Wahrscheinlichkeit.

Und wenn es energetisch günstiger ist, passiert es dann irgendwann, früher oder später.

Und jetzt habe ich aus dem Neutron einen Proton gemacht.

Ich habe jetzt also plötzlich mehr Proton im Kern.

Also eine höhere Ladungszahl und eine höhere Ladungszahl ist das nächste Element.

Und jetzt mache ich das einfach da auch.

Neutron anlagern, bis instabil wird, zack, wandelt sich um, nächstes Element.

Und so arbeitet man sich hoch in diesen Neutroneneinfangprozessen.

Da gibt es den langsamen und den schnellen Neutroneneinfangprozess, kommt auf die Umgebung an, die man da hat und wie viele Neutronen und wie dicht es so ist.

Und was wir dann eben auch viel machen, sind diese Messungen.

Ich schieße Neutronen auf eine bestimmte Probe und will wissen, wie wahrscheinlich es ist, dass es einfängt, dieser Kern.

Und das machen wir in Frankfurt zum Beispiel an einem kleinen Beschleuniger.

Im Institut in Frankfurt in der Physik steht ein kleiner Van der Graf-Beschleuniger.

Van der Graf-Beschleuniger.

Genau, ein bestimmter Typ von Beschleuniger.

Klingt cool.

Klingt cool, ist cool.

Klingt wie irgendwas aus der Enterprise.

Ja, sieht auch so aus.

Heisenberg-Kompensator Van der Graf-Beschleuniger.

Und der kann alles, was wir brauchen.

Wir brauchen nicht viel Energie.

Hast du gerade gesagt, der sieht auch so aus.

Entschuldigung.

Ja, so eine Tonne, wo der Beschleuniger drin ist.

Das ist so zwei Meter lang.

Innen ganz fancy.

Du brauchst ja Hochspannung und dann, das machst du bei Ladungstrennung, da läuft so ein Gummiband um.

Das ist wie, wenn du so früher erinnerst, früher hat man noch Katzenfelle an irgendwelchen Metallstäben gerieben.

Genau.

Und jetzt reibst du so ein Band und streifst Ladung ab und transportierst sie da um und nutzen Protonen.

Das ist auch einfach, Protonen zu beschleunigen und schießen Protonen auf Lithium.

Und wenn ich Protonen auf Lithium schieße, entstehen Neutronen aus der Reaktion, die da passiert.

Und mit den Neutronen kann ich dann meine eigentliche Probe, die ich gerne will, beschießen.

Damit machst du dann Gold.

Könnte man, ja.

Die Schüler, von denen du Vorträge hältst, in welchem Alter sind die?

Also ich bin da gerne für ein Projekt unterwegs, das heißt Brückenschlagen von der Uni Frankfurt und die gehen, die machen Wissenschaftstage so in der Oberstufe.

Okay, das heißt, die verstehen schon, worüber du redest.

Ja.

Fragen die Fragen oder sitzen die da fasziniert und dann gehst du wieder nach Hause?

Kommt auf die Gruppe an, muss man ehrlich sagen.

Was fragen die, wenn die fragen?

Was fragen die?

Tatsächlich manchmal Details, wenn da jemand dabei ist, der oder die ist sehr interessiert.

Dann auch mal Detailfragen, wie man das so macht.

Spannender finde ich ja eigentlich, gut, jetzt habe ich mal erzählt, was ich so mache.

Und das ist ja so ein bisschen eigentlich, ja gut, ich studiere Physik, aber was heißt das?

Und jetzt erzähle ich so mal ein bisschen, wie eigentlich mein Alltag aussieht.

Oder ich erzähle, gut, ich baue Detektoren, ich sitze tatsächlich da in der Werkstatt und mache irgendwas oder ich sitze vorm Computer.

Einfach mal so einen Eindruck geben, was es eigentlich so heißt, das zu machen.

Physik.

Spannender finde ich dann, ja, so ein bisschen auch zu diskutieren mit denen,

was wollen die denn eigentlich oder wie sieht so ein Studium dann aus und wohin soll es denn eigentlich gehen?

Wie sieht so ein Studium denn aus?

In der Physik?

Ja.

Viele Vorlesungen, viele Übungstitel rechnen, Praktika machen.

Viel Mathe.

Och, es geht eigentlich.

Es geht.

Komm drauf an.

Das heißt, man muss nicht unbedingt der Crack in Mathe sein, um Physik studieren zu können?

Es hilft es nicht zu hassen.

Das reicht schon.

Ja.

Das ist ja nicht viel.

Mathe nicht zu hassen ist ja nicht viel.

Wenn das schon reicht, um Physik studieren zu können, das ist immer interessant.

Aber es kommt ein bisschen drauf an, wenn du Interesse hast, mehr in die Theorie zu gehen, dann brauchst du natürlich mehr davon.

Du siehst meine Arbeit, die ich mache, ja, ich brauche auch Mathematik, aber ich

brauche keine Axiome, ich muss nichts her, also ich leite nichts her,  
typischerweise, sondern ich wende es halt an.

Jo, dann gehe ich vielleicht auf meine alten Tage nochmal Physik studieren, weil  
ich hasse Mathe nicht.

Dann sehen wir uns an der Uni.

Katrin Göbel, vielen Dank.

Danke.

Vielen Dank.