

# Alfred en de Nobelen



Alfred Nobel (1833-1896) was a Swedish chemist, engineer, and philanthropist. He is best known for his invention of dynamite and for the Nobel Prizes, which are awarded annually in his name. The prizes are given to individuals who have made significant contributions in the fields of physics, chemistry, medicine, literature, and peace.

**DE NOBEL ALS FABRIKANT**

Alfred Nobel was a brilliant inventor. He was particularly interested in the field of explosives. His most famous invention was dynamite, which he developed in 1847. This invention revolutionized the construction industry and made it possible to build large-scale infrastructure projects. Nobel also invented ballistite, a more powerful and safer explosive than dynamite.

**ALS DE ZELF WAT NIET BOEI...**

In addition to his work as an inventor, Nobel was also a successful businessman. He founded the Nobel-Ballistite factory in 1865, which became one of the largest and most profitable industrial enterprises in Sweden. His success in business allowed him to accumulate a vast fortune, which he later used to fund the Nobel Prizes.

**DE NOBEL ALS WETENSCHAPPELIER**

Despite his fame as an inventor and businessman, Nobel was also a dedicated scientist. He was particularly interested in the field of chemistry and made several important discoveries. He discovered nitroglycerin, a highly explosive liquid, and ballistite, a more powerful and safer explosive. He also discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder.

**DE NOBEL ALS WETENSCHAPPELIER**

Nobel's scientific work was not limited to chemistry. He was also interested in the field of physics and made several important discoveries. He discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder. He also discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder.

**DE NOBEL ALS WETENSCHAPPELIER**

Nobel's scientific work was not limited to chemistry and physics. He was also interested in the field of medicine and made several important discoveries. He discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder. He also discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder.

**DE NOBEL ALS WETENSCHAPPELIER**

Nobel's scientific work was not limited to chemistry, physics, and medicine. He was also interested in the field of literature and made several important discoveries. He discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder. He also discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder.

**DE NOBEL ALS WETENSCHAPPELIER**

Nobel's scientific work was not limited to chemistry, physics, medicine, and literature. He was also interested in the field of peace and made several important discoveries. He discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder. He also discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder.

# 1992 • Alfred Nobel

## VAN BITTERE ARBEID TOT WILDLIJFJAREN

Alfred Nobel werd geboren op 21 oktober 1833 in Stockholm. Hij was een van de vijf kinderen van de rijke bankier Bernhard Nobel. Zijn vader was een succesvolle zakenman en had een groot belang in de Zweedse banksector. Alfred werd opgevoed in een milieu van rijkdom en intellectuele activiteit. Hij was een uitstekende student en behaalde zijn doctoraat in de natuurwetenschappen aan de Universiteit van Stockholm in 1850. Hij was vooral geïnteresseerd in de chemie en de fysica. Hij begon zijn wetenschappelijke carrière als assistent van de beroemde chemicus Jöns Jacob Berzelius. Hij was een van de meest productieve wetenschappers van zijn tijd en maakte vele belangrijke ontdekkingen. Hij ontdekte onder andere nitroglycerine, ballistite en dynamite. Hij was ook een succesvol uitvinder en ondernemer. Hij richtte de Nobel-Ballistite fabriek op, die de grootste explosievenfabriek ter wereld werd. Hij was een van de rijksten mensen van zijn tijd en gebruikte zijn vermogen om wetenschappelijke onderzoek te financieren. Hij richtte de Nobelprijs op, die wordt toegekend aan personen die belangrijke bijdragen hebben geleverd aan de mensheid. Hij overleed op 6 september 1896 aan een hartaanval op zijn 63-jarige leeftijd. Hij werd begraven op de Nobelfield in Stockholm.

## DE NOBEL ALS WETENSCHAPPELIER

Alfred Nobel was a brilliant scientist. He was particularly interested in the field of chemistry and made several important discoveries. He discovered nitroglycerin, a highly explosive liquid, and ballistite, a more powerful and safer explosive than dynamite. He also discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder. He was also interested in the field of physics and made several important discoveries. He discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder. He also discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder.

## DE NOBEL ALS WETENSCHAPPELIER

Nobel's scientific work was not limited to chemistry and physics. He was also interested in the field of medicine and made several important discoveries. He discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder. He also discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder.

## DE NOBEL ALS WETENSCHAPPELIER

Nobel's scientific work was not limited to chemistry, physics, and medicine. He was also interested in the field of literature and made several important discoveries. He discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder. He also discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder.

## DE NOBEL ALS WETENSCHAPPELIER

Nobel's scientific work was not limited to chemistry, physics, medicine, and literature. He was also interested in the field of peace and made several important discoveries. He discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder. He also discovered the compound nitrocellulose, which is used in the production of gunpowder.

*Het is inmiddels ruim een eeuw geleden dat voor het eerst de Nobelprijzen werden uitgereikt. Nog steeds is dat een van de belangrijkste gebeurtenissen in de wetenschappelijke wereld. Wie was Nobel, en hoe ontstonden de Nobelprijzen?*

*De ontwikkeling door Nobel van het dynamiet als het eerste sterke en relatief veilige explosief was een scheikundige prestatie die de samenleving in de vorige eeuw sterk heeft beïnvloed. Dynamiet maakte het mogelijk ook in gebieden met rotsachtige ondergrond spoorlijnen, wegen, kanalen, oliepijpleidingen, havens en dergelijke aan te leggen. Na zijn dood in 1896 bleek Nobel tot verrassing van velen -en tot ergernis van zijn nabestaanden - zijn geld na te laten aan een stichting die van de rente een geldprijs moest verlenen "aan die personen die zich erg verdienstelijk hebben gemaakt voor de mensheid".*

*Als voorbeeld van een Nobelprijs voor baanbrekend onderzoek, noemen we de Nobelprijs die in 1991 werd verleend aan de Zwitserse dr. Ernst voor z'n werk aan NMR en MRI. In de meeste ziekenhuizen staat MRI-apparatuur waarvan het aantal toepassingen de laatste jaren explosief gestegen is. Daarom naast Nobel ook aandacht voor onderzoek dat de Nobelprijs verdiende.*

#### **Het testament**

Het testament van Alfred Nobel bestond uit vier velletjes handgeschreven papier. Er was geen jurist aan te pas gekomen. Door de vele processen die hij had meegemaakt - meestal in verband met octrooien - was Alfred Nobel het vertrouwen in deze 'formaliteitsparasieten' kwijtgeraakt. Het gebrek aan juridische achtergrond maakte het uitvoeren van zijn laatste wil erg moeilijk. Bijvoorbeeld doordat de stichting die het geld moest beheren nog niet bestond. Deze stichting moest een enorm vermogen (omgerekend naar nu: 250 miljoen euro) beheren en de rente gebruiken voor de 5 jaarlijkse Nobelprijzen. De in het testament genoemde instituten die de prijzen moesten toekennen - de Zweedse Academie van Wetenschappen, het Karolinska instituut en het Noorse Storting (het Noorse parlement) - wisten van niets. Verwanten die de erfenis hun neus voorbij zagen gaan, bestreden het testament. Een groepje vrienden van Nobel heeft geprobeerd zijn laatste wil zo goed mogelijk uit te voeren. Vijf jaar na Alfreds dood, op 10 december 1901, werden de eerste Nobelprijzen uitgereikt. Sindsdien zijn de Nobelprijzen de grootste eer die een onderzoeker te beurt kan vallen. Nog steeds, nu al meer dan 100 jaar, worden ze op Nobels sterfdag, 10 december, in Stockholm door de koning van Zweden uitgereikt.

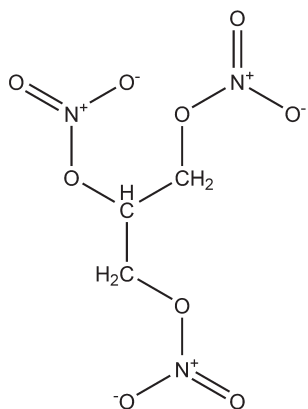
#### **Van bittere armoede tot multimiljonair**

Alfred Bernhard Nobel werd op 21 oktober 1833 geboren. Zijn ouders waren arm. Zijn vader, Immanuel Nobel, was architect, maar vooral uitvinder en daardoor meestal platzak; vrijwel al zijn geld ging op aan experimenten. Na het bouwen van de eerste rubberfabriek van Zweden ging hij failliet. Hij kon zijn schuldeisers slechts ontlopen door in 1837 het land uit te gaan. Zijn gezin bleef achter in Zweden. Moeder ging werken en de oudste zoons, Robert en Ludvig, moesten op straat zwavelstokjes verkopen om aan geld voor eten te komen. Kleine Alfred, die zwak en ziekelijk was, overleefde zijn kleutertijd alleen door de goede zorgen van moeder Andriette. Toen hij 9 was, kon hij zelfs een jaar naar school. Daar was hij direct de beste van de klas.

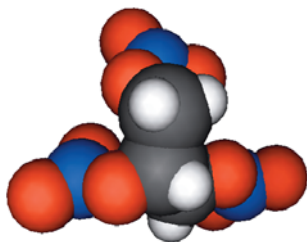
Intussen had vader Nobel in Rusland belangstelling weten te wekken voor de uitvinding die de Zweedse regering niet had willen hebben: een landmijn gevuld met buskruit, de enige bekende springstof in die tijd. Hij begon in St.-Petersburg een technisch bedrijfje. In 1842 kon hij zijn vrouw en kinderen per postkoets laten overkomen en zijn schulden in Zweden afbetalen. De zaken gingen steeds beter en al gauw leverde het bedrijf onder andere stoommachines en ijzeren onderdelen voor de eerste spoorlijn en de eerste stoomboten. Er was geld om de zoons privé-onderwijs te laten geven door beroemde geleerden. Alfred leerde zo Russisch en scheikunde. Op zeventienjarige leeftijd vertrok hij voor een lange zwerftocht door West-Europa en Amerika. Toen hij twee jaar later terug kwam sprak hij vloeiend Frans, Duits en Engels en wist hij vrijwel alles wat toen bekend was van natuur- en scheikunde.

In 1853 brak de Krim-oorlog uit. Grote aantallen land- en zeemijnen werden geproduceerd en verkocht tot tsaar Nicolaas I tegen het einde van de oorlog in 1856 stierf. De nieuwe Russische regering annuleerde daarop in één keer alle bestellingen en Immanuel ging weer eens failliet. Berooid keerde hij terug naar zijn vaderland, even arm als hij 20 jaar daarvoor was weggegaan. In Zweden ging hij op zoek naar een krachtiger springstof om zijn mijnen te verbeteren. Alfreds leermeester in St.Petersburg had al gewezen op de explosiviteit van de olie die in 1846 door Sobrero ontdekt was: nitroglycerine. Maar omdat deze olie zeer schokgevoelig bleek, was de stof eigenlijk te onbetrouwbaar om mee te werken. Vlak bij zijn huis in Stockholm bouwde vader Nobel met geleend geld een nitroglycerine-fabriek. Door buskruit met 10%





Glyceryltrinitraat



nitroglycerine te vermengen wist hij een krachtiger springstof te verkrijgen voor zijn mijnen. Het gezin en de burens leefden in die tijd letterlijk op een kruikvat. Alfred Nobel, die in 1863 bij zijn vader in de fabriek kwam werken, zocht een veilige manier om nitroglycerine te ontsteken. Hoe moeilijk dat was, bleek in 1864. Toen explodeerde de hele fabriek.

Onder de vijf doden was ook zijn jongere broer Emil, die bij het experiment had geholpen. Broer Robert gaf Alfred vanuit Rusland de raad zo spoedig mogelijk een eind te maken aan zijn vervloekte uitvindingsloopbaan, waar toch alleen maar ongeluk van kwam. Maar Alfred ging verder met experimenteren. De burens maakten bezwaar tegen herbouwen van de fabriek en het gemeentebestuur gaf daarvoor dan ook geen toestemming. Daarom richtte Alfred op een boot een laboratorium in. Midden op een groot meer voerde hij zijn verdere experimenten uit. En met succes! Met een aparte kleine springlading - een slaghoedje - wist hij de ontsteking van nitroglycerine te beheersen en hiermee het gebruik van nitroglycerine als springstof mogelijk te maken.

Bij het verlaten gehucht Vinterviken bouwde Alfred Nobel een springstoffabriek. De geproduceerde springstof met ontsteking werd over de gehele wereld verkocht en gebruikt. De naam Nobel werd een begrip. Amerikaanse concurrenten gaven zelfs de vestigingsplaats van hun fabriek de naam 'Nobel' om 'echte Nobel-springstof' te kunnen leveren. Helaas vonden er ook veel ongelukken plaats. De springolie werd door onwetendheid vaak verkeerd gebruikt, bijvoorbeeld om schoenen te poetsen, lampen te vullen of wagens te smeren. Dergelijke fouten werden zelden vaker dan één keer door dezelfde persoon gemaakt... Soms ging het ook wél goed: Alfred vertelde zelf hoe hij eens, toen hij na een lange winter door zijn voorraad nitroglycerine heen was, met een houwiel de vast geworden nitroglycerine (het wordt vast bij 4°C) uit grote vaten had gebikt.

Ondanks zijn zwakke gezondheid richtte Alfred Nobel in veel landen springstoffabrieken op. Hij was hiervoor vaak op reis. Al snel was hij miljonair, maar een eigen kantoor of secretaris had hij niet. Al zijn brieven schreef hij zelf, met de hand. Er waren dagen dat hij wel 30 brieven schreef. Elke briefschrijver kreeg bovendien antwoord in de eigen taal. In 1891 vestigde hij zich in San Remo in Italië, waar hij tot zijn dood bleef experimenteren. Hij onderzocht naast springstoffen onder andere legeringen van lichte metalen, de bereiding van natrium en kalium door elektrolyse en het maken van kunstzijde, synthetische rubber en synthetische edelstenen.

Toen hij in 1896 hartklachten kreeg, werd hem als medicijn nitroglycerine voorgeschreven, de stof waar hij zijn leven lang mee gewerkt had (nitroglycerine in lage dosering wordt nog steeds gebruikt bij hartkwalen). Op 10 december 1896 stierf Alfred Nobel aan een hersenbloeding.

### Het geheim van het dynamiet

De grote uitvinding van Nobel was niet het explosief nitroglycerine zelf, maar de manier om de stof ook echt als springstof te gebruiken. Het gevaarlijke aan de stof is, dat het een erg lage activeringsenergie heeft voor de explosieve ontleding. Het wordt gemaakt uit glycerol en nitreerzuur. Dat laatste is een mengsel van geconcentreerd salpeterzuur en geconcentreerd zwavelzuur. De reactie is een gewone verestering tussen een alcohol en salpeterzuur, waarbij het zwavelzuur dient om het water dat bij deze condensatiereactie ontstaat, te binden en zo het evenwicht naar rechts te verschuiven. Vanaf het begin van de reactie is de hierbij gevormde stof een gevoelig explosief. Het moment van exploderen is volstrekt onvoorspelbaar. Nitroglycerine werd het eerst gemaakt in 1846 door de Italiaan Sobrero die al snel in de gaten had dat het goedje veel te gevaarlijk was om mee te werken. Alfred Nobel vond na ruim een jaar experimenteren een stof die als negatieve katalysator werkt: kiezelgoer, een poreus gesteente dat onder andere aan de Oostzeekust voorkomt. Doordat de moleculen nitroglycerine aan het oppervlak van het poreuze gesteente worden geadsorbeerd, kunnen ze niet zo gemakkelijk meer met elkaar reageren. Een spontane explosie komt dan haast niet meer voor.

Het mengsel, dat één deel kiezelgoer op drie delen nitroglycerine bevat, noemde Nobel dynamiet. Combinatie met een andere uitvinding, ongeveer een jaar eerder, maakt het geheel tot een goed bruikbaar explosief. Dat was de uitvinding van het slaghoedje. Dit slaghoedje bevat een kleine hoeveelheid van een zeer gevoelige stof. Het slaghoedje zoals Nobel het uitvond, bestond uit een hoeveelheid knalkwik,  $\text{Hg}(\text{OCN})_2$  in een stevige capsule. Een klap die hard genoeg is om de capsule te vervormen, laat het knalkwik exploderen. Deze explosie zet daarna de explosie van het minder gevoelige dynamiet in gang. De combinatie van deze twee uitvindingen: het slaghoedje, waardoor de reactie op gecontroleerde wijze in gang wordt gezet, en kiezelgoer, dat de gevoeligheid vermindert, maakte Nobel rijk. Jammer alleen dat hij ze in de verkeerde volgorde uitvond. In het jaar dat hij al wel het slaghoedje had, maar nog niet met kiezelgoer werkte, ontplofte z'n





werkplaats met de hele voorraad nitroglycerine.

### Nitroglycerine of glyceryltrinitraat

'Nitroglycerine', zo stond de explosieve stof bekend in de tijd dat Nobel er mee werkte, en zo noemen veel mensen deze stof nog steeds. Chemisch is deze naam echter niet juist. Nitrogroepen zijn NO<sub>2</sub> groepen die met het stikstofatoom aan een koolstofatoom vastzitten. In 'nitroglycerine' zitten NO<sub>3</sub> groepen die met een zuurstofatoom aan een koolstofatoom vastzitten, en zoiets heet een nitraat. In de stukjes over Alfred Nobel gebruiken we vaak de naam nitroglycerine als het gaat over de stof waar Nobel bijna zijn hele leven aan heeft gewijd. Als het over de chemische eigenschappen van de stof gaat, gebruiken we de goede naam glyceryltrinitraat. Hiernaast is het molecuul cellulosenitraat afgebeeld. Om dezelfde reden als hierboven is de veelgebruikte naam nitrocellulose voor deze stof niet juist. Een ander explosief is TNT, trinitrotolueen. Die naam is wél goed: in deze stof zitten drie nitrogroepen (tolueen is de triviale naam voor methylbenzeen).

### Gevaarlijke nitraten

Niet alleen glyceryltrinitraat (nitroglycerine), de grondstof van dynamiet, maar ook veel andere nitraten zijn explosief. Dat geldt niet alleen voor koolstofverbindingen met nitro-groepen en nitraatgroepen, maar ook voor nitraten als zouten. Buskruit, het oudst bekende explosief, bevat bijvoorbeeld kaliumnitraat (salpeter).

De meeste mensen kennen nitraten alleen als bestanddeel van kunstmest. En terecht, want daar worden veruit de meeste nitraten voor gebruikt. Planten hebben voor de opbouw van aminozuren (eiwitten) stikstof nodig, en halen die meestal uit nitraten. Vooral ammoniumnitraat is daar erg geschikt voor. Daar zit nog meer stikstof in dan in kaliumnitraat. Dat ammoniumnitraat ook explosief kan ontleden, was tot 70 jaar geleden nauwelijks bekend. Grote hopen ammoniumnitraat op fabrieksterreinen, die door de regen helemaal vastgeklonterd waren, werden met kleine springladingen los gemaakt zodat het ammoniumnitraat verwerkt kon worden. De laatste keer dat deze werkwijze werd toegepast was op 21 september 1921 op een groot fabrieksterrein in Oppau (Duitsland). Op deze dag reageerde een enorme berg ammoniumnitraat volgens de reactievergelijking

$$2 \text{NH}_4\text{NO}_3 (\text{s}) \rightarrow 2 \text{N}_2 (\text{g}) + 4 \text{H}_2\text{O} (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g})$$

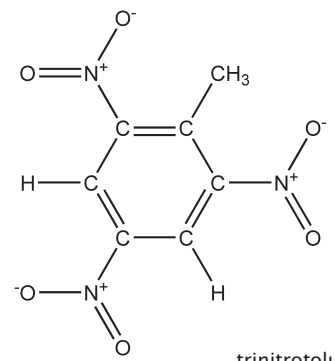
Na de reactie bleken met de berg ammoniumnitraat ook een aantal dichtbijgelegen fabrieken geheel verdwenen te zijn. De explosie kostte aan 600 mensen het leven.

Wat dat betreft zijn nitraten verraderlijk. In kleine hoeveelheden zijn het meestal ongevaarlijke en veel gebruikte chemicaliën, maar tegelijk zijn nitraten de basis voor veel explosieven. Bij hun ontleding neemt het volume enorm toe, omdat de ontledingsproducten gassen zijn. Hoe groter de volumeverandering en hoe sneller en vollediger de reactie plaats vindt, des te effectiever en krachtiger is het explosief.

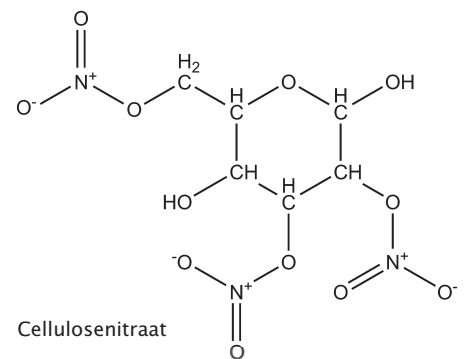
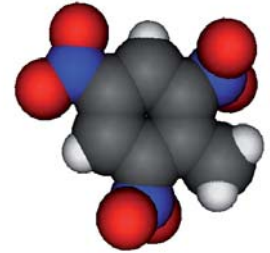
### Van dynamiet tot kneedbom

Eigenlijk wordt het soort dynamiet dat Nobel heeft uitgevonden nauwelijks meer gebruikt. Alhoewel het in z'n tijd een goed explosief was, is het vergeleken met moderne explosieven veel te gevaarlijk. Omdat het kiezelgoer dat in dynamiet zit de explosieve werking vermindert, wordt zo veel mogelijk glyceryltrinitraat en zo weinig mogelijk kiezelgoer in dynamiet verwerkt. Bij iets hogere temperatuur laat een gedeelte van het glyceryltrinitraat los van het kiezelgoer: het dynamiet gaat 'zweten'. Daardoor wordt het vrijwel net zo schokgevoelig en onbetrouwbaar als vloeibaar glyceryltrinitraat. Het dynamiet dat het meest verkocht werd, begon al bij 32°C te zweten, zodat het vooral bij warm weer oppassen geblazen was. Inmiddels zijn er springstoffen ontwikkeld die een grotere explosieve kracht bezitten, maar vooral een veel hogere activeringsenergie hebben. Slaan, elektrische vonken en zelfs een brander zijn niet voldoende om deze energiedrempel te overwinnen en een reactie te laten beginnen.

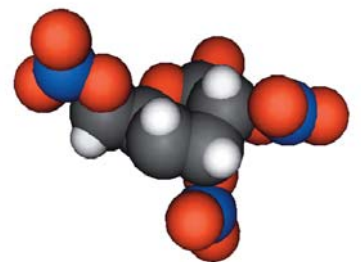
In dit verband is het goed om twee soorten explosieve reacties te onderscheiden. Allereerst is er de snelle verbranding of deflagratie. Mengsels die snel verbranden worden vaak in vuurwerk gebruikt, en worden door vuurwerkmakers meestal sassen genoemd. De samenstelling lijkt vaak op die van buskruit: salpeter, koolstofpoeder en zwavel. Een sas die op een open schaal ontbrandt, geeft een felle maar niet al te snelle verbranding. In het algemeen ontstaat er geen knal. Als de verbrandingsruimte aan één kant open is, zorgen de bij de reactie gevormde gassen voor voortstuwing zoals in een vuurpijl, maar in een gesloten ruimte kunnen de gassen voor een heftige explosie zorgen. De snelheid van de reactie wordt bepaald door de snelheid waarmee de vrijkomende reactiewarmte zich door de stof voortplant. Veel verwoestender is een detonatie. De reactie plant zich hierbij voort door de schok die bij de explosie ontstaat. De snelheid van de schokgolf kan zo'n één tot tien kilometer per seconde bedragen, dat is ruim boven de snelheid van het geluid. De gassen die vrijkomen

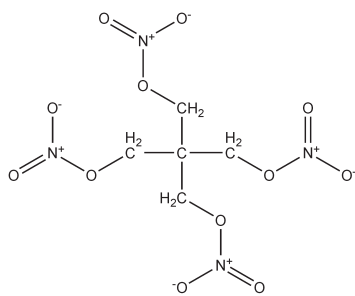


trinitrotolueen

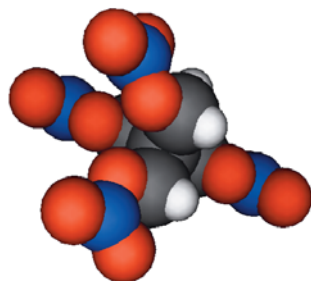


Cellulosenitraat





pentriet



hebben in het begin ongeveer eenzelfde snelheid en de knal die je hoort is dan ook te vergelijken met het geluid van een straaljager die sneller dan het geluid vliegt. Een stof die moet detoneren, kan haast alleen maar aangestoken worden met een slaghoedje of een ontstekingspatroon. Een detonatie heeft altijd een verwoestende werking: het maakt weinig uit of er een huls om heen zit of niet. Het verschil tussen een deflagratie en een detonatie wordt goed duidelijk als de explosie plaats vindt in een houten blok. Bij een deflagratie met bijvoorbeeld buskruit versplintert het hout, maar bij een detonatie met bijvoorbeeld dynamiet blijft er van het hout alleen maar fijn houtstof over.

De ammoniumnitraat-explosie in Oppau was een detonatie, en ook de meeste moderne explosieven detoneren. Deze moderne explosieven kunnen alleen met een speciale ontsteker tot explosie worden gebracht. Deze ontsteker bevat een gloeidraadje die door de hitte van het gloeien een reactie in gang zet. De ontsteker bevat een reeks steeds krachtiger explosieve stoffen. Na het ontsteken begint een deflagratie-reactie die aan het eind van de ontsteker is overgegaan in een krachtige detonatie. De schokgolf die daarbij ontstaat is in staat om het eigenlijke explosief te laten detoneren. Hoe veiliger de explosieve stoffen de laatste tijd zijn geworden door de bijzonder hoge activeringsenergie, des te gevaarlijker zijn de ontstekers nu. Die moeten immers die bijzonder hoge

onmogelijk maken. Hij had daarover een uitvoerige briefwisseling met de Oostenrijkse vredesactiviste Bertha von Suttner (zij staat afgebeeld op een Oostenrijkse 2-euromunt). Zij was het niet met hem eens. Het is aannemelijk dat Nobel het idee om zijn fortuin te besteden aan wetenschappelijk onderzoek, aan literatuur en aan vredesprijzen, kreeg naar aanleiding van de briefwisseling met Bertha von Suttner.

### Zes Nobelprijzen voor NMR

Tegenwoordig is aan de onderwerpen waarvoor de wetenschappelijke Nobelprijzen worden uitgekeerd, goed te zien welk onderzoek als belangrijk wordt gezien.

Een onderwerp dat meerdere Nobelprijzen heeft opgeleverd, is de NMR- of MRI-techniek. Opvallend hieraan is dat deze techniek zowel prijzen voor natuurkunde, voor scheikunde als voor medicijnen heeft opgeleverd.

In 1952 was het ontwikkelen van de NMR-techniek goed het uitreiken van een Nobelprijs voor natuurkunde aan de Amerikanen Felix Bloch en Edward Purcell. In 1991 en in 2002 kregen achtereenvolgens de Zwitsers Richard Ernst en Kurt Wüthrich de Nobelprijs voor scheikunde nadat ze de techniek voor scheikundig onderzoek geschikt had gemaakt. In 2003 kregen de Amerikanen Paul Lauterbur en Peter Mansfield de Nobelprijs voor Fysiologie en Medicijnen voor hun toepassing van NMR in de geneeskunde.



Felix Bloch



Edward Purcell



Richard Ernst



Kurt Wüthrich



Paul Lauterbur



Sir Peter Mansfield

energie leveren.

Een veelgebruikte moderne springstof is pentriet. Wordt pentriet gemengd met een beetje olie of een polymeer met weekmaker, dan ontstaat een goed kneedbare massa en kan het gebruikt (of misbruikt) worden in kneedbommen. Semtex, populair onder terroristen, is een voorbeeld van zo'n mengsel.

### Vreedzame toepassingen van explosieven

Nobel was er van overtuigd dat zijn explosieven een vredelievend doel hadden. Verreweg het meeste dynamiet van Nobel werd gebruikt voor wegen- en mijnbouw. In het geval van een oorlog zouden wapens met zijn krachtige explosieven een langdurige strijd vrijwel

### Tollende protonen

Bij NMR draait het om protonen, vaak het proton dat de kern vormt van een waterstofatoom. Een proton blijkt als een tol om z'n eigen as te draaien. In het Engels heet dat spinnen. (Ons woord spinnewiel komt daar ook nog vandaan, de wollen draad wordt ge-

vormd doordat de wol almaar om de eigen as in elkaar wordt gedraaid.) Normaal is die tolbeweging willekeurig, het proton kan alle kanten op buitelen. Maar als er een magneet in de buurt is, is dat niet meer zo. Dan draait het proton rechtsom of linksom, andere mogelijkheden zijn er niet meer. Omdat een proton een lading heeft, zorgt een rondtollend proton voor een mag-

neetveld, net als een spoel van een elektromagneet. In feite is de rondtollende waterstofkern dus een klein magneetje. Als er een sterke magneet in de buurt is, zal dat kernmagneetje zich of met het magneetveld mee richten, of precies ertegenin. Tussen die twee mogelijkheden is een heel klein energieverschil, en de meeste kernen zullen de laagste energie kiezen.

Bij de NMR-techniek maakt de onderzoeker gebruik van dat kleine energieverschil. Als er de protonen bestraald worden met straling dat precies dezelfde energie heeft als het kleine energieverschil tussen links- of rechtsom draaiende protonen, zal een deel van die straling opgenomen worden door protonen die daarmee plotseiling de andere kant op gaan draaien. Natuurkundigen spreken in dit geval van resonantie. Vandaar de fraaie naam van de techniek: kernspinresonantie-spectroscopie, en in het Engels Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy. Dat er tijdens dat resoneren straling wordt geabsorbeerd is te meten, en die meting is de kern van de NMR-techniek.

### NMR in de reageerbuis

Scheikundigen hadden al snel door dat de methode erg handig was. Vooral in koolstofverbindingen zitten vaak veel waterstofatomen, en die zijn in principe met NMR te meten. De resonantie hangt af van de sterkte van de magneet en de golflengte van de gebruikte straling. De toepassing in de scheikunde werd mogelijk toen onderzoekers ontdekten dat allerlei atoomgroepen in een molecuul het sterke magneetveld van buiten een beetje kunnen tegenwerken. En dat resonantie van de waterstofatomen dus steeds bij een iets andere golflengte van de straling gebeurt, afhankelijk van waar het te meten waterstofatoom in een molecuul zit.

Als voorbeeld hierbij twee NMR-spectra. Het verschil tussen waterstofatomen aan een benzeenring en die in een methylgroep is duidelijk. Uit zo'n spectrum is soms snel een structuurformule van de stof af te leiden.

Het grote voordeel van NMR is dat de gemeten stof onveranderd en onbeschadigd uit de meting komt. Het nadeel is dat de techniek nogal ongevoelig is. De gebruikte straling is zeer energiearme radiostraling, en je moet vrij lang meten voordat je genoeg informatie hebt.

### NMR wordt MRI

Dat de straling die voor NMR nodig is, zeer energiearme en dus onschadelijke radiostraling is, maakt het ook voor metingen in het ziekenhuis interessant. Het kostte wel even wat moeite

om de sterke magneet zo te maken dat er een mens in paste in plaats van een reageerbuisje. Verder interesseert het medici niet in welke atoomgroepen de waterstof zit, maar hoeveel waterstofatomen ergens in een weefsel zitten. Botweefsel bevat veel minder waterstof dan bloed, en eiwit ook relatief weinig. Meting van de hoeveelheid waterstof zegt dus iets over het soort weefsel. Om dat te kunnen meten, levert het apparaat steeds een korte radiopuls, en veel waterstofatomen absorberen die energie om van spinrichting te kunnen veranderen. De meting zelf begint pas daarna, als waterstofatomen die door de straling zijn omgeklapt, weer terugdraaien, en daarbij precies de opgenomen radiostraling weer uitzenden. Het lichaam is dus een radiozender geworden. De uitzending wordt door een computer opgevangen en opgeslagen. Probleem is om te bepalen waar die radiostraling precies vandaan komt, want van langgolvlige radiostraling is de bron vrijwel niet op te sporen. De oplossing was terecht een Nobelprijs waard: pas de magneet zo aan, dat overal in het meetveld (het lichaam dus) een iets andere magneetsterkte heerst. Daardoor heeft de door het lichaam uitgezonden radiostraling overal een iets andere golflengte, en verraadt zo de plaats waar de straling vandaan komt.

De meting levert dan ook geen grafiek of spectrum op, maar een ruimtelijk beeld van een lichaam, en welk soort weefsel waar zit. De naam van de methode is daar aan aangepast. De techniek heet in het ziekenhuis MRI, Magnetic Resonance Imaging.

In vrijwel elk ziekenhuis is de MRI nu een standaardtechniek. Terecht dat de ontwikkeling van deze techniek zes Nobelprijswinnaars heeft opgeleverd.

