

# INLEIDING BIJ DE JUBILEUMEDITIE

---

**TIEN JAAR** geleden werd *Wat als?* voor het eerst gepubliceerd als een verzameling antwoorden op absurde hypothetische vragen. Deze vragen werden mij voorgelegd door lezers van mijn website, waar ik een soort Dear Abby-column schrijf met adviezen voor wereldvreemde wetenschappers en de simplistisch opgezette webstrip *xkcd* teken.

In de oorspronkelijke inleiding van het boek vertelde ik dat ik zolang ik me kon herinneren wiskunde heb gebruikt om een antwoord op vreemde vragen te vinden. Op mijn vijfde had mijn moeder een gesprek met me dat ze heeft opgeschreven en heeft bewaard in een fotoalbum. Toen ze hoorde dat ik dit boek aan het schrijven was, stuurde ze me een kopie, die ik in het boek heb opgenomen. Hier is het, zoals het letterlijk is weergegeven op haar 35 jaar oude velletje papier.

- Randall:** Zijn er meer zachte dingen of harde dingen in ons huis?  
**Julie:** Dat weet ik niet.  
**Randall:** En in de wereld?  
**Julie:** Dat weet ik niet.  
**Randall:** Nou, elk huis heeft drie of vier kussens, toch?  
**Julie:** Klopt.  
**Randall:** En elk huis heeft ongeveer 15 magneten, toch?  
**Julie:** Ik denk het.  
**Randall:** Dus 15 plus 3 of 4, zeg maar 4, is 19, hè?  
**Julie:** Klopt.  
**Randall:** Dan kunnen er dus zo'n 3 miljard zachte dingen zijn, en... 5 miljard harde dingen. Nou, welke wint er dan?  
**Julie:** De harde dingen, denk ik.

Soms kan het verleidelijk zijn om alles van onze persoonlijkheid toe te schrijven aan intrinsieke eigenschappen. Ik ben een 'wiskundepersoon', en daarom loste ik als kind natuurlijk problemen op met wiskunde. Ik weet zeker dat daar een kern van waarheid in zit, maar ik denk ook dat het idee van een aangeboren persoonlijkheid ons soms op een dwaalspoor kan brengen. Als we menen dat elk aspect

van onszelf vast en onveranderlijk is, kunnen we gemakkelijk over het hoofd zien hoeveel we van elkaar kunnen leren.

Pas geleden stuitte ik op een paar afleveringen van het educatieve wiskunde-programma *Square One*, dat op het televisienetwerk PBS werd uitgezonden toen ik klein was. Het bevatte een onderdeel dat *Mathnet* heette, een parodie op *Dragnet* en andere politiefilms, waarin een paar detectives wiskunde gebruiken om misdaden op te lossen. Ik keek een paar afleveringen terug en zag dat de personages met behulp van wiskunde uitzochten hoeveel een hamburger ter grootte van een zit-bank zou wegen, hoeveel auto's er per dag werden gestolen in Los Angeles, en hoe ver een helikopter kon vliegen terwijl hij een huis vervoerde. Ik realiseerde me dat toen ik met mijn moeder sprak over harde en zachte dingen, ik precies de manier imiteerde waarop ze op *Mathnet* praatten.

Toen ik *Wat als?* schreef, dacht ik er niet echt over na of kinderen het leuk zouden vinden. Ik wilde gewoon iets vertellen over de leuke vragen die mensen stelden en de coole feiten die ik had opgedoken toen ik probeerde ze te beantwoorden. Als mensen naar me toe kwamen bij een signeersessie, zag ik vaak tot mijn verrassing dat ze kinderen bij zich hadden – kinderen die mijn hoofdstukken uit hun hoofd kenden en hun eigen scenario's in kaart hadden gebracht. In de daaropvolgende tien jaar ontmoette ik steeds meer middelbarescholieren en studenten die als kind mijn boeken hadden gelezen en nu de wetenschap in gingen.

Mensen praten soms over wetenschap alsof het gaat over het toevoegen van feiten aan de verzamelde menselijke kennis. Maar wetenschap is niet simpelweg de verzameling van alle ware feiten. Het is een proces om antwoord te krijgen op vragen over dingen waar we om geven, en dat laatste moet op de eerste plaats komen. Antwoorden zijn alleen belangrijk als iemand om de vragen geeft. Er is geen wetenschappelijk weerwoord tegen nihilisme.

Veel vragen in dit boek zijn absurd. Niemand zal ooit een gat door het middelpunt van de aarde boren of een honkbal gooien op 90 procent van de lichtsnelheid. Maar iemand gaf genoeg om de vraag om hem te stellen, en toen ik die vragen las, gaf ik er ook om – en de wetenschap geeft ons een manier om te proberen het antwoord te achterhalen.

Door het schrijven van dit boek heb ik geleerd dat als je een absurde vraag grondig probeert te beantwoorden, je interessante dingen kunt tegenkomen. En dat de middelen waarmee je dwaze vragen beantwoordt ook te gebruiken zijn om serieuze vragen te beantwoorden. Ik weet nog steeds niet of er meer harde of zachte dingen in de wereld zijn, maar ik ben gaandeweg veel andere dingen te weten gekomen. Hier volgen mijn favoriete onderdelen van die reis.

Randall Munroe

## WERELDWIJDE STORM

### V. Wat gebeurt er als de aarde, met alles wat erop voorkomt, opeens niet meer ronddraait terwijl de dampkring de oude snelheid behoudt?

– Andrew Brown

#### A. BIJNA ALLES WAT LEEFT, GAAT DOOD. En dán wordt het interessant.

Op de evenaar heeft het oppervlak van de aarde een rondgaande snelheid van ongeveer 470 meter per seconde – bijna 1700 kilometer per uur – ten opzichte van haar as. Als de aarde stilstaat en de lucht niet, steekt er plotseling een wind op van 1700 kilometer per uur.

Deze wind is het krachtigst op de evenaar, maar alles en iedereen tussen 42°NB en 42°ZB – waar ongeveer 85 procent van de wereldbevolking leeft – krijgt opeens te kampen met een supersonische wind.

Nabij het aardoppervlak houden de hoogste windsnelheden slechts een paar minuten aan; de wind vertraagt hier door frictie met de bodem. Maar die paar minuten zijn lang genoeg om vrijwel alle bouwwerken van de mens tot puin te blazen.

■ Mijn huis in Boston staat ver genoeg naar het noorden om net buiten de supersonische windzone te blijven, maar de wind is altijd nog tweemaal zo sterk als de

10x Als we de windsnelheid met 10 vermenigvuldigen, is Boston er veel slechter aan toe. Gebouwen raken oververhit door de hypersonische wind, en als de uit elkaar vallende gebouwen tegen elkaar botsen, verandert de impact alles in plasma.



■ ER GEBEUREN VERSCHRIKKELIJKE DINGEN.

■ ER GEBEUREN VERSCHRIKKELIJKE DINGEN, MAAR LANGZAMER.

10x Wat als de dampkring 10 keer zo snel draait, zodat alle windsnelheden met 10 worden vermenigvuldigd? Dan leeft niet 85 procent van de wereldbevolking in de supersonische windzone, maar 99,999999 procent – iedereen behalve de ongeveer honderd onderzoekers en medewerkers die het geluk hebben binnen een paar honderd kilometer van de Noordpool of de Zuidpool te zijn.

krachtigste tornado. Gebouwen, van schuurtjes tot wolkenkrabbers, worden tegen de grond geslagen, van hun fundament losgerukt en tuimelend over het landschap verspreid.

Bij de Noordpool en de Zuidpool is de wind minder sterk, maar geen enkele menselijke stad ligt ver genoeg van de evenaar om aan de verwoesting te ontkomen. Longyearbyen, op de Noorse eilandengroep Spitsbergen (Svalbard) – de stad met de hoogste noordelijke breedtegraad op aarde – wordt verwoest door een wind met een kracht die gelijk is aan die van de hevigste tropische wervelstormen op aarde.

Als je wilt wachten tot de storm luwt, is de Finse hoofdstad Helsinki misschien een van de beste locaties. De vrij hoge noorderbreedte – boven de 60° – voorkomt niet dat de wind alles met de grond gelijkmaakt, maar in de bodem onder Helsinki ligt een goed verzorgd netwerk van tunnels, inclusief een ondergronds winkelcentrum, een ijshockeybaan, een zwembad en nog veel meer.



Geen enkel gebouw is veilig; zelfs gebouwen die eigenlijk sterk genoeg zijn om de wind te weerstaan, komen in de problemen. Zoals de komiek Ron White over orkanen zei: 'Het probleem is niet dat de wind waait, maar wat er met de wind mee-waait.'

Stel, je zit in een zware bunker van een of ander materiaal dat een wind van 1700 kilometer per uur kan doorstaan.

10x In het scenario van 10x-wind is de wind zo sterk dat Ron White ongelijk heeft – het maakt niet uit wat er met de wind mee waait. Dat het waait is genoeg.

TOEN BOUWDE HET 92E BIGGETJE  
EEN HUIS VAN VERARMD URANIUM.  
EN DE WOLF MOEST TOEGEVEN: 'DA'S KWAP.'



Dat is mooi, en je bent veilig... als je tenminste de enige met een bunker bent. He-las heb je waarschijnlijk burens, en als die burens een minder solide bunker hebben, krijgt jouw bunker de inslag met 1700 kilometer per uur van hún bunker voor zijn kiezen.



Het menselijk ras sterft niet uit.<sup>1</sup> Over het algemeen kunnen maar heel weinig mensen boven de grond het overleven; het rondvliegende puin verpulvert alles wat niet bestand is gemaakt tegen een atoomaanval. Maar veel mensen onder de grond kunnen het prima overleven. Als je in een diepe kelder zit (of beter nog, een tunnel van de metro) op het moment dat het gebeurt, heb je een aardige kans om het te overleven.

Er zullen ook nog andere gelukkige overlevenden zijn. De tientallen wetenschappers en hun medewerkers op het Zuidpoolstation Amundsen-Scott zijn veilig voor de wind. Zij krijgen voor het eerst door dat er iets aan de hand is als ze merken dat de rest van de wereld plotseling niets meer van zich laat horen.

Ze verwonderen zich waarschijnlijk een tijdje over die mysterieuze stilte, maar uiteindelijk merkt iemand nog iets veel vreemders op:

1 Ik bedoel, niet meteen.



## De lucht

Wanneer de oppervlaktewind luwt, wordt de situatie nog vreemder.

De stormwind vormt een hittegolf. Normaal gesproken is de kinetische energie van wind zo goed als verwaarloosbaar, maar dit is geen normale wind. Als de aarde tot een turbulente stilstand komt, wordt de wind warmer.

Boven land leidt dit tot een verzengende temperatuursverhoging en – in gebieden met een hoge luchtvochtigheid – immense onweersbuien.

Tegelijkertijd doet de wind boven de oceanen het oppervlaktewater kolken en vernevelen. De oceaan heeft enige tijd helemaal geen oppervlakte meer; je kunt onmogelijk zeggen waar de zee begint en de nevel eindigt.

Oceanen zijn koud. Onder de dunne oppervlaktelaag hebben ze een vrij uniforme temperatuur van 4°C. De storm brengt in een omgekeerde maalstroom koud water vanuit de diepte omhoog. De toestroom van koude nevel in de hete lucht creëert een soort weer dat nooit eerder op aarde is voorgekomen – een kolkende mix van wind, nevel, mist en abrupte temperatuurwisselingen.

Dit borrelende brouwsel leidt tot nieuwe vormen van leven doordat er nieuwe voedingsstoffen door de bovenste lagen stromen. Tegelijkertijd heeft het een enorme sterfte tot gevolg onder vissen, krabben, zeeschildpadden en andere dieren die de toestroom van zuurstofarm water uit de diepte niet aankunnen. Alle dieren die adem moeten halen, zoals walvissen en dolfijnen, krijgen het moeilijk om te overleven in de turbulente mengeling van zee en lucht.

De golven spoelen van oost naar west de wereld rond, en elke naar het oosten gewende kust krijgt te maken met de grootste stormvloed in de geschiedenis van de wereld. Een verblindende wolk van waternevel schiet landinwaarts door, en daarachter doemt een turbulente, kolkende muur van water op als een tsunami. Hier en daar reiken de golven vele kilometers landinwaarts.

De storm brengt grote hoeveelheden stof en puin in de dampkring. Tegelijkertijd komt er een dichte deken van mist over de koude oppervlakten van de oceaan te liggen. Normaal gesproken daalt hierdoor de mondiale temperatuur. En dat gebeurt ook.

Tenminste, aan één kant van de aarde.

Als de aarde stopt met ronddraaien, betekent dat het einde van de normale cyclus van dag en nacht. De beweging van de zon langs de hemel stopt niet helemaal, maar in plaats van eens per dag op te komen en onder te gaan, doet de zon dat nu eens per j<sup>á</sup>ar.

De dag en de nacht zijn elk zes maanden lang, zelfs op de evenaar. Aan de dagkant blakert de oppervlakte onder het voortdurende zonlicht, terwijl aan de nachtkant de temperatuur sterk daalt. De convectie aan de dagkant leidt tot grote stormen in het gebied dat pal onder de zon ligt.<sup>2</sup>

ALS DE OUDE CYCLUS VAN DAG EN NACHT ER NIET MEER IS, WANNEER MOET IK DEZE DUIVELTJES DAN ETEN GEVEN?



In bepaalde opzichten heeft deze aarde veel weg van een van de exoplaneten met een synchrone rotatie rond een rode dwerg, maar een betere vergelijking is misschien de heel vroege Venus. Door haar rotatie houdt Venus net als onze stilgezette aarde maandenlang dezelfde kant naar de zon gewend. De dichte dampkring circuleert er echter zeer snel, waardoor de dag- en de nachtkant toch ongeveer dezelfde temperatuur hebben.

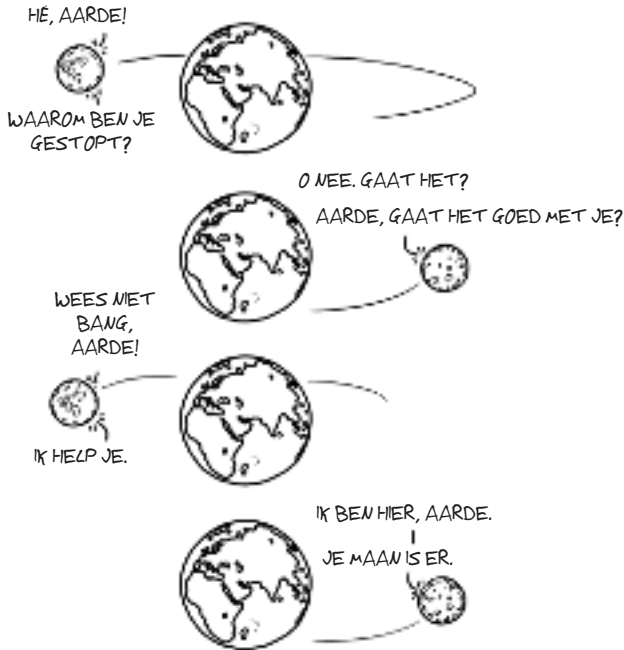
Ook al verandert de lengte van de dag, de lengte van de maand verandert niet! De maan is niet gestopt met om de aarde heen draaien. Maar zonder de rotatie van de aarde die de maan getijenergie geeft, stopt de maan met de geleidelijke beweging van de aarde vandaan (die zich momenteel voordoet) en begint langzaam naar ons terug te komen.

In feite geeft de maan, onze trouwe metgezel, hiermee de aanzet om de schade te herstellen die Andrew heeft aangericht. Momenteel draait de aarde sneller om

<sup>2</sup> Al valt zonder het corioliseffect niet te voorspellen in welke richting ze draaien.

haar as dan de maan, en hebben onze getijden een vertragende invloed op de rotatie van de aarde, terwijl ze de maan van ons weg duwen.<sup>3</sup> Als we stoppen met ronddraaien, zweeft de maan niet meer van ons vandaan. De getijden van de maan vertragen ons niet meer, maar zetten juist aan tot een draaiing. Heel stilletjes, heel zachtjes trekt de zwaartekracht van de maan aan onze planeet...

Een van mijn favoriete weetjes is dat de aarde steeds sneller gaat, en niemand weet waarom. De getijden van de maan vertragen de draaiing van de aarde al miljarden jaren. Maar sinds ongeveer 1972 is de aarde feitelijk iets sneller gaan draaien en zijn de dagen een paar milliseconden korter geworden. Dit is waarschijnlijk oké. Zoiets is eerder gebeurd – de aarde vertraagde eind 19e eeuw, versnelde weer tot in de jaren 30 en vertraagde weer tot de jaren 70. Deze kortetermijnveranderingen zijn waarschijnlijk het gevolg van stromingen in de buitenste laag van de aardkern die we niet kunnen waarnemen of voorspellen; binnen een paar decennia zal er vrijwel zeker weer een vertraging optreden. Toch blijft het raar.



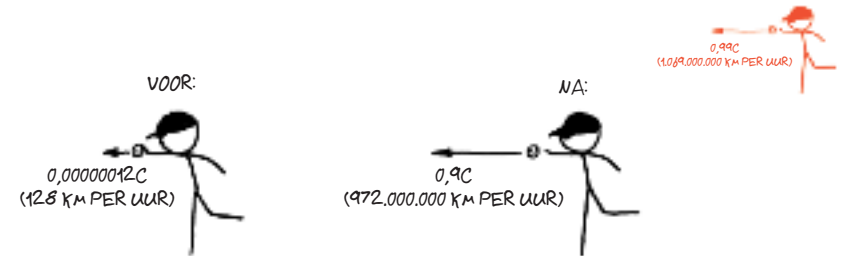
... en begint de aarde weer te draaien.



## DE RELATIVITEIT VAN HONKBAL

V. Wat gebeurt er als je een honkbal probeert te raken die met 90 procent van de snelheid van het licht op je afkomt?

- Ellen McManis



We laten buiten beschouwing hoe we de bal zo'n grote snelheid kunnen geven. We gaan ervan uit dat het een normale worp is, waarbij de bal op het moment dat de werper deze loslaat, op magische wijze accelereert naar 0,9c. Vanaf dat punt verloopt alles volgens de gangbare fysica.

10x De lichtsnelheid is 1080 miljoen km per uur, een 0,99c-honkbal gaat ongeveer 1069 miljoen km per uur.

A. HET ANTWOORD IS: 'Veel.' En het gaat allemaal erg snel, en het loopt niet goed af voor de slagman (ook niet voor de werper). Ik heb er een paar natuurkundeboeken bij genomen, een poppetje van de werper Nolan Ryan, een stel video-opnames van kernproeven, en probeerde het uit te werken. Hier volgt wat volgens mij het aannemelijkst is in een schets van nanoseconde tot nanoseconde.

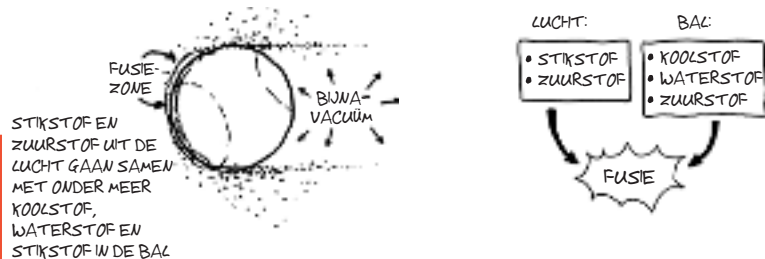
De bal gaat zo snel dat al het andere praktisch stilstaat. Zelfs de moleculen in de lucht staan stil. Lucht moleculen gaan in principe trillend heen en weer met een snelheid van een paar honderd kilometer per uur, maar de bal schiet er met 970 miljoen kilometer per uur doorheen. Dus in vergelijking met de bal hangen ze gewoon stil.

De principes van de aerodynamica gaan dan niet op. Normaal stroomt de lucht om alles heen wat erop afkomt. Maar voor de lucht moleculen in de baan van deze bal is de tijd te kort waarin ze uit de weg kunnen worden gedrongen. De bal raakt ze zo hard dat de atomen in de lucht moleculen samensmelten met de atomen aan

10x Wat als de bal nog sneller gaat? Niets kan sneller gaan dan de lichtsnelheid, maar wat als we er 10 keer dichterbij komen? Een honkbal die beweegt met 0,99c heeft veel meer energie dan een honkbal met 0,9c.

3 Zie <http://what-if.xkcd.com/26> onder *Leap Seconds* voor een uitleg waarom dit gebeurt.

het oppervlak van de bal. Op elke botsing volgt een uitbarsting van gammastralen en uiteenspattende deeltjes.<sup>1</sup>

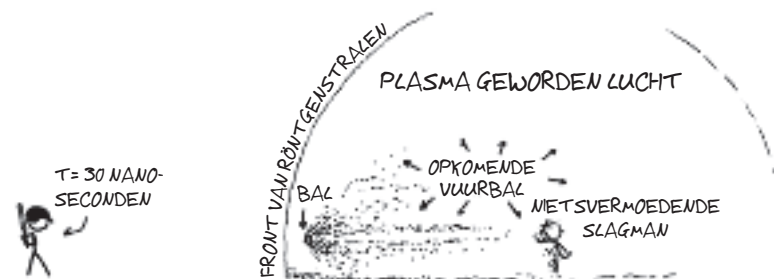


Deze gammastralen en de restanten dijen uit in een grote bol rond de werpheuvel. Ze beginnen de moleculen in de lucht uiteen te trekken, waarbij ze de elektronen losmaken van hun nucleus en de lucht in het stadion veranderen in een uitdijende bol van gloeiendheid plasma. De wand van deze bol nadert de slagman met ongeveer de snelheid van het licht – net iets voor de bal zelf uit.

De aanhoudende samensmelting aan de voorkant van de bal oefent een terugwaartse kracht uit, waardoor de bal vertraagt, alsof hij een raket is die achterstevoeren vliegt terwijl de motoren ontbranden. Helaas gaat de bal zo snel dat zelfs de enorme kracht van deze voortgaande thermonucleaire explosie nauwelijks een merkbare vertraging oplevert. De kracht van de explosie vreet echter wel aan de oppervlakte, waardoor kleine fragmenten van de bal in alle richtingen wegspatzen. Deze fragmenten gaan zo snel dat ze, wanneer ze luchtmoleculen raken, nog twee of drie fusies ontketenen.

Na ongeveer 70 nanoseconden komt de bal aan op de thuisbasis. De slagman heeft niet eens gezien dat de werper de bal losliet, doordat het licht dat deze informatie draagt, zo'n beetje op hetzelfde moment aankomt als de bal. De botsingen met de lucht hebben de bal vrijwel geheel weggevreten, en hij is nu een kogelvormige wolk van uitdijend plasma (hoofdzakelijk koolstof, zuurstof, waterstof en stikstof) dat tegen de lucht ramt en onderweg nog meer fusies veroorzaakt. Het omhulsel van röntgenstralen raakt de slagman het eerst, en een paar nanoseconden later wordt hij getroffen door de wolk van restanten.

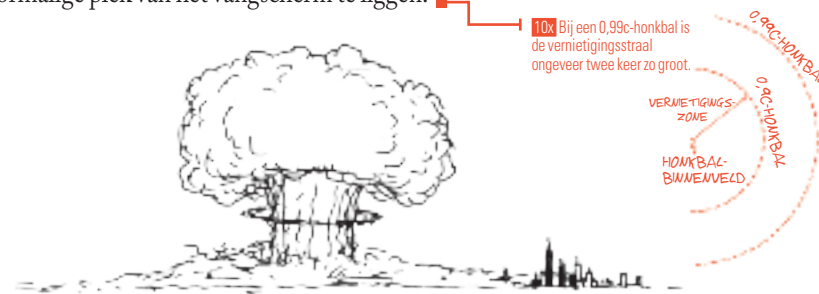
<sup>1</sup> Toen ik dit artikel voor het eerst publiceerde, liet Hans Rinderknecht, een natuurkundige van het Massachusetts Institute of Technology, me weten dat hij dit scenario had gesimuleerd op de computers in hun lab. Hij constateerde dat de meeste luchtmoleculen in het begin van de baan van de bal te snel bewogen om een fusie te veroorzaken, en dwars door de bal heen gingen, waardoor deze langzamer en gelijkmatiger werd verwarmd dan ik had beschreven.



Wanneer de wolk de slagman bereikt, beweegt het centrum zich nog steeds met een aanzienlijk percentage van de snelheid van het licht voort. De wolk raakt eerst het slaghout, maar dan worden de slagman, de thuisplaat en de achtervanger allemaal opgepakt en dwars door het vangscherm meegesleurd terwijl ze desintegreerren. Het omhulsel van röntgenstralen en gloeiendheid plasma zet verder naar buiten en omhoog uit, waarbij het vangscherm, beide teams, de zitbanken en de nabije omgeving worden opgeslokt – dat allemaal in de eerste microseconde.

Stel dat je op een heuvel buiten de stad staat te kijken. Het eerste wat je dan ziet, is een verblindend licht, veel sterker dan dat van de zon. Dit licht wordt in de loop van een paar seconden flauwer, waarna een vuurbal uitgroeit tot een paddenstoelwolk. Daarna arriveert met groot geraas een vernietigende golf die bomen losrukt en huizen in puin legt.

Alles binnen een straal van zo'n anderhalve kilometer van het park wordt met de grond gelijkgemaakt, en een vuurstorm golft over de omringende stad. Het honkbal-binnenveld, inmiddels een flinke krater, komt zo'n honderd meter achter de voormalige plek van het vangscherm te liggen.



Volgens regel 6.08(b) van het reglement voor de Amerikaanse honkbalcompetitie wordt de slagman in deze situatie geraakt door de worp en mag hij vrij doorlopen naar het eerste honk.