

# Inhoud

1. Wanneer zwarte gaten botsen 11
2. High fidelity 15
3. Natuurlijke hulpbronnen 33
4. Cultuurschok 50
5. Joe Weber 64
6. Prototypes 76
7. De Trojka 86
8. De klim 99
9. Weber en Trimble 110
10. LHO 121
11. Skunkworks 136
12. Weddenschappen 155
13. Rashomon 167
14. LLO 180
15. Little Cave aan Figueroa 197
16. De race is begonnen 207  
    Epiloog 216

Dankwoord 225

Noten met betrekking tot de bronnen 227

## Wanneer zwarte gaten botsen

Ergens in het universum botsen twee zwarte gaten op elkaar – zwaar als sterren, klein als steden, letterlijk zwarte (de volledige afwezigheid van licht) gaten (lege holtes). Verbonden door de zwaartekracht doorlopen de zwarte gaten in hun laatste seconden samen duizenden omwentelingen rond het punt waar ze elkaar uiteindelijk zullen treffen, ruimte en tijd klutsend tot ze op elkaar knallen en samensmelten tot één groter zwart gat, een gebeurtenis die krachtiger is dan alle andere sinds het begin van het heelal, waarbij meer dan een biljoen maal de energie van een miljard zonnen vrijkomt. De zwarte gaten botsen in volslagen duisternis op elkaar. Niets van de exploderende energie als gevolg van de botsing komt als licht naar buiten. Geen telescoop zal het gebeuren ooit zien.

Die enorme hoeveelheid energie straalt alleen gravitationeel uit de samensmeltende gaten, als golven in de vorm van ruimtetijd, zwaartekrachtgolven. Als er vlakbij een astronaut rond zou zweven, zou zij niets zien. Maar de ruimte waarin zij zich bevindt zou weergalmen, haar vervormen, door haar eerst samen te persen en vervolgens uit te rekken. Als ze er dicht genoeg bij zou zijn, zou het haar gehoor doen trillen. Ze zou de golf *horen*. In de lege duisternis zou ze de ruimtetijd horen galmen. (Alleen zou ze ook onmiddellijk de dood vinden als gevolg van een zwart gat.) Zwaartekrachtgolven zijn als geluiden zonder een materieel medium. Als zwarte gaten op elkaar botsen, maken ze geluid.

Geen mens heeft ooit het geluid van een zwaartekrachtgolf ge-

hoord. Geen instrument heeft zo'n geluid onomstotelijk vastgelegd. Als het zich met de snelheid van het licht van de botsing naar de aarde voortplant, zou dat een miljard jaar kunnen duren, en tegen de tijd dat de zwaartekrachtgolf van de botsing tussen twee zwarte gaten bij deze planeet aankomt, kan het kabaal van de botsing onwaarneembaar zwak zijn, en nog zwakker dan dat. Stiller dan beschreven kan worden met de gangbare superlatieven. Tegen de tijd dat de zwaartekrachtgolf hier aankomt, zal het galmen van de ruimte gepaard gaan met relatieve afstandsveranderingen ter breedte van een atoomkern over een afstand die vergelijkbaar is met de omtrek van drie aardes.

Een halve eeuw geleden begon men aan een campagne om het firmament vast te leggen. Tot op heden is het Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory (LIGO) de duurste onderneming die ooit is gefinancierd door de National Science Foundation (NSF), een onafhankelijke federale instantie die fundamenteel wetenschappelijk onderzoek subsidieert. Er zijn twee LIGO-observatoria, eentje in Hanford, Washington, en eentje in Livingston, Louisiana. Elk van beide machines beslaat vier vierkante kilometer. Met totale kosten van meer dan een miljard dollar en een internationaal samenwerkingsverband van honderden wetenschappers en ingenieurs is LIGO de bekroning van hele carrières en tientallen jaren technologische innovatie.

De laatste paar jaar zijn de machines offline gehaald om hun geavanceerde detectiemogelijkheden te upgraden. Alles is vervangen behalve het niets (het vacuüm), zo vertelde een van de onderzoekers mij. Intussen voeren groepen over de hele wereld berekeningen uit om de luidruchtigste momenten van het universum beter te kunnen voorspellen. Theoretici maken gebruik van de tussentijd om data-algoritmes te ontwerpen, databanken aan te leggen en methodes te bedenken om het maximale uit de instrumenten te halen. Veel wetenschappers hebben hun leven gewijd aan het experimentele doel van het meten van 'een afstandsverandering vergelijkbaar met minder dan een menselijke haar in ver-

houding tot honderd miljard maal de omtrek van de wereld’.

In de hopelijk rijke jaren na de eerste waarneming hebben de observatoria op aarde de ambitie om de geluiden van cataclysmische astronomische gebeurtenissen uit vele richtingen en op diverse afstanden te registreren. Dode sterren botsen op elkaar, oude sterren exploderen en de big bang heeft zich voltrokken. Allerlei verstreckende herrie kan de ruimtetijd doen galmen. In de levensduur van de observatoria zullen wetenschappers een daverende dissonante partituur reconstrueren ter begeleiding van de stomme film van de geschiedenis van het universum, die de mens heeft samengesteld uit stilstaande beelden van het firmament, een reeks bevroren momentopnames die zijn genomen in de loop van de laatste vierhonderd jaar sinds Galileo voor het eerst een primitieve telescoop op de zon richtte.

Ik volg deze monumentale experimentele poging om subtiele verschuivingen in de verschijningsvorm van de ruimtetijd te meten, deels als een wetenschapper die een bijdrage hoopt te leveren aan een monolithisch vakgebied, deels als een beginneling die een onbekende machinerie hoopt te doorgronden, deels als een schrijver die de eerste menselijke registraties van naakte zwarte gaten hoopt te documenteren. Nu het wereldwijde netwerk van de zwaartekrachtobservatoria het laatste stuk van deze race ingaat, wordt het moeilijker om de aandacht af te houden van de belofte van ontdekkingen, hoewel er nog steeds mensen zijn die grote twijfels hebben wat betreft de kans op succes.

In de schaduw van een controversieel begin en het verzet van invloedrijke wetenschappers, felle interne strijd en lastige technologische dilemma’s herstelde en ontwikkelde LIGO zich. Het haalde streefdoelen en zijn capaciteit nam toe. Vijftig jaar nadat het experimentele ideaal een aanvang nam, staan wij aan de vooravond van het moment dat een kolossale machine zich op een nietig geluidje zal storten. Een idee dat in de jaren zestig ontstond, een gedachte-experiment, een amusante haiku, is nu iets van metaal en glas.

Advanced LIGO begon in het najaar van 2015 met het registreren van het firmament, een eeuw nadat Einstein zijn wiskundige beschrijving van zwaartekrachtgolven publiceerde. Met een jaar of twee, drie zouden de instrumenten hun maximale gevoeligheid moeten bereiken. De vroege generatie apparaten heeft het concept bewezen, maar dan nog is succes niet gegarandeerd. De natuur schikt zich niet altijd. De geavanceerde machines zullen hun doelwit vinden, bijstellingen, correcties en kalibraties ondergaan en wachten tot er iets buitengewoons gebeurt, terwijl de wetenschappers hun twijfels terzijde schuiven en zich naar de finish haasten.

Dit boek is niet alleen een kroniek van zwaartekrachtgolven – een sonische registratie van de geschiedenis van het universum, een soundtrack bij de stomme film – maar ook een eerbetoon aan een donquichotachtige, heroïsche, aangrijpende experimentele onderneming, een eerbetoon aan een dwaas ideaal.

## High fidelity

Om zes uur 's middags is het gebouw stil voor een MIT-hoofdkwartier. Ik moet buiten wachten tot een promovenda aan komt rijden en van haar fiets springt om me binnen te laten. Ze neemt de fiets mee de trap op. 'Het kantoor van Rai is verderop.' Ze wijst naar de gang achter haar en stept weg, met één voet in de toeclip van haar pedaal, terwijl ze de andere voet aan dezelfde kant laat hangen. Ze springt van haar fiets en wordt opgeslokt door een vale kantoordeur. De deur van Rai ziet er precies hetzelfde uit en ik heb het gevoel dat je je makkelijk in de kantoren kunt vergissen, net als bij hotelkamers.

Rainer Weiss wenkt me naar binnen. We slaan de gebruikelijke sociale introducties over en spreken op vertrouwde toon, ook al is dit onze eerste ontmoeting, alsof we elkaar al heel lang kennen, waarbij de gedeelde ervaring van onze wetenschappelijke gemeenschap zwaarder weegt dan dezelfde geboorteplaats of zelfs generatie. We leunen achterover in stoelen die niet bij elkaar passen, met onze voeten op één bankje.

'In mijn leven begon ik met één ambitie. Ik wilde muziek beter laten klinken. Als jongere maakte ik deel uit van de hifi-revolutie. Want, weet je, ik was rond 1947 een jochie. Ik bouwde hifi-sets van de eerste generatie. De meeste immigranten die naar New York kwamen wilden heel graag naar klassieke muziek luisteren.

Zie je die luidspreker daar? Die kwam uit een bioscoop in Brooklyn. Achter het scherm had je een matrix van die dingen. Ik had er twintig. Die zeulde ik allemaal mee met de metro. Er

was een enorme brand bij de Paramount in Brooklyn, en zij deden ze weg. Ik had dus luidsprekers van bioscoopkwaliteit, ik was een fantastisch circuit aan het bouwen en ik had FM-radio. Ik nodigde vrienden uit om naar het New York Philharmonic te komen luisteren en dat was ongelooflijk. Je had het gevoel alsof je in de concertzaal zat. Er kwam een ongelooflijk geluid uit die dingen.'

Rai gebaart naar de conische metalen ingewanden van een luidspreker van rond 1935. Het kale frame is overdreven zwaar uitgevoerd, iets wat door de ontwikkelingen op designgebied is uitgebannen, maar oogt verder technologisch gezien verrassend recent, eerder een uitspatting uit de jaren zeventig dan een gebruiksvoorwerp uit de jaren dertig. Het object past visueel bij de andere metalen frames van diverse apparaten die zijn opgestapeld rond het centrum waar wetenschappers zich bekommeren om een zwaartekrachtinstrument dat in de jaren zestig voor het eerst een fascinerend gedachte-experiment leek. Hoewel hij later zou ontdekken dat hij niet de eerste was, verzoon Rai een toestel om het geluid van de galmende ruimtetijd te registreren. Het experiment, een toonbeeld van wetenschappelijke ambitie, is nu te kolossaal voor dit gebouw of zelfs voor Cambridge, Massachusetts. Een Research & Development-lab waar enkele van de componenten van de machines ontwikkeld worden is ondergebracht in de kelder van het aangrenzende gebouw, terwijl de volledig geassembleerde instrumenten op afgelegen locaties gebouwd worden.

In 2005 legde Rai de eerbiedwaardige rol van hoogleraar natuurkunde aan MIT af om door vier kilometer aan betonnen tunnels te lopen, oscilloscopen aan laserbuizen toe te voegen, 18 000 kubieke meter hard vacuüm af te speuren op lekken en seismische trillingen te meten in bedompte afgesloten ruimtes waar het stikte van de wespen. Rai stapte in wezen op voor het voorrecht om weer een student te zijn, zij het met de grandeur van de eminente kwalificatie voor de meest bewonderde gepensioneerde – maar nog actieve – academici: emeritus hoogleraar.

Rai praat met de nadrukkelijke ritmes van een bepaalde generatie New Yorkers, met de typisch Amerikaanse fonetiek die is voortgekomen uit een amalgaam van Europese accenten. Een eventuele Duitse tongval die hij aan die mix heeft toegevoegd is daar volledig in opgegaan. Het vertrouwde timbre herinnert me evenzeer aan een tijdperk als aan een landstreek. Hij werd in 1932 in Berlijn geboren als zoon van een rebelse vader, Frederick Weiss, een communist uit een rijke Joodse familie. (Rais grootmoeder van vaderszijde was een lid van de vooraanstaande familie Rathenau. ‘Heel Duits, een beetje Joods’ is Rais kenschetsing.) Rai beschrijft zijn moeder, Gertrude Lösner, ook als een rebel, niet Joods en een actrice. ‘Op de een of andere manier kregen ze iets met elkaar,’ zegt Rai, alsof er dingen zijn die we nooit moeten proberen te begrijpen. ‘Ik was het gevolg van die ontmoeting; ze waren nog niet getrouwd,’ verduidelijkt hij.

Zoals alle andere immigranten die in Rais woonkamer naar het Philharmonic luisterden, heeft hij een verhaal hoe hij daar is beland, een beetje om de toon te zetten, maar dat is niet de eigenlijke actie in zijn levensverhaal, dat kort na de uitwisseling van documenten op Ellis Island begint. Rais voorspel begint in een communistisch arbeidersziekenhuis in Berlijn, waar zijn vader neuroloog was. De nazi’s infiltrerden het ziekenhuis en de wijk, zoals ze ook in andere buurten hadden gedaan. Een ondergeschoven medewerker van de nazi’s verprutste een operatie in het ziekenhuis, waarbij de patiënt overleed, zodat zijn gepolitiseerde vader gedwongen was om het voorval aan te geven bij de verzwakte autoriteiten. Als een roversbende plukten de nazi’s hem van de straat bij wijze van vergelding, waarna ze hem in de cel gooiden; in het familieverhaal wordt niet verteld waar precies. Daar zou hij misschien zijn weggerot – Fredericks eigen familie had hem verstoten vanwege zijn fanatieke communisme – als hij Rai niet op oudejaarsavond had verwekt. Rais zwangere moeder en haar vader, een plaatselijke bureaucraat in de Weimarrepubliek, slaagden erin om hem vrij te krijgen. Hoewel hij wel mocht vertrekken, kon Rais vader niet meer blijven.



Frederick werd gedwongen om de grens over te gaan naar Tsjecho-Slowakije. Zijn nieuwe gezin volgde hem kort daarop. Rai kan zich niet voorstellen hoe zijn ouders lang genoeg ophielden met ruziën om in 1937 zijn zus Sybille Weiss te verwekken. (Ze gaven Hitler altijd de schuld van hun moeizame huwelijk.) Om even bij te komen van het huwelijkse venijn ging het gezin voor het eerst samen op vakantie naar het Tatragebergte, bij de Poolse grens. In de foyer van het hotel raakte Rai gefascineerd door een oude houten gotische radio met gloeiende buizen tijdens een uitzending van Chamberlains appeasementpolitiek, de politiek waardoor uiteindelijk delen van Tsjecho-Slowakije door Duitsland geannexeerd zouden worden. Ze draaiden aan de knoppen van de radio om op de stem van Chamberlain af te stemmen en de boodschap zonder vervorming op te kunnen vangen. Rai beschrijft een geschrokken groep uitgeweken Duitsers, onder wie veel Joden, die afreisde om als de donder vanuit de bergen naar Praag te gaan en Tsjecho-Slowakije te verlaten voordat deze overeenkomst werd bekrachtigd. ‘We ontkwamen en hadden wat dat betreft veel geluk. Dat we ontkwamen, kwam doordat mijn vader arts was, want veel mensen lukte het niet.’

In New York onderhield zijn moeder het gezin een paar jaar met losse werkzaamheden tot zijn vader zijn eigen praktijk als psychoanalyticus begon. ‘Ik ging in New York naar een school, de Columbia Grammar School, waar Murray Gell-Mann (winnaar van een Nobelprijs voor natuurkunde) naartoe was gegaan. Hij was een paar jaar ouder dan ik. Ik werd altijd met hem vergeleken. In de trant van: “Die vent wist wel wat. Jij bent gewoon een nietsnut.” Van die dingen.

Men had voor het eerst FM-radio (frequentiemodulatie) en Rai wist genoeg van elektronica om een versterker te bouwen en de geluidskwaliteit te verbeteren. Hij hield er een klein handeltje op na. De eerste die zijn systeem kocht, was geen tante op basis van erfelijkheid maar op basis van affiniteit, een vrouw die hij ‘tante Ruth’ noemde. Hij weet niet meer wat hij verdiende – niet dat ik

het vraag – maar hij weet nog wel dat hij alleen de kosten van de onderdelen in rekening bracht. Hij was een ondernemer met een clientèle geworden: de gemeenschap van immigranten met een hang naar high fidelity. Toen ze eenmaal hadden gehoord hoe het systeem van Rai de muziek helderder maakte, nam de vraag toe door mond-tot-mondreclame.

‘Er waren dingen die schellakplaten heetten, dat waren de oorspronkelijke platen. Die hadden een achtergrondruis. Vinylplaten hebben die niet. Die hebben eerder een tik. Dit was een echte achtergrondruis. *Shshshshsh*. Zie je, de naald werd altijd aangestuurd door het ruwe oppervlak, en ik probeerde manieren te bedenken om van dat verdomde gesis af te komen.

Tijdens de zachte passages in een sonate van Beethoven of zo, als die traag is, hoor je de ruis altijd. En hoe kom je er vanaf? Als je veel geluid hebt, maakt het niet meer uit. Dan wordt het gemaskeerd. En ik probeerde een circuit te maken dat de bandbreedte van het toestel zou veranderen als functie van de amplitude van het geluid. En ik wist dat ik niet genoeg wist om dat zelf te doen, en dus wist ik dat ik naar de universiteit wilde om dat te leren.

‘Ik ging naar de universiteit, naar MIT – ik wilde leren hoe ik een geluidstechnicus moest worden. Maar al snel besepte ik dat ik geen ingenieur wilde worden. Ik stapte over op natuurkunde, en ik weet niet waarom... Nee, ik zal het je vertellen; het was echt dom. De vakgroep Natuurkunde stelde minder hoge eisen dan de andere en ik was volkomen ongedisciplineerd – ik wilde helemaal geen eisen.’

Rai verzekert me dat iedereen van het MIT-team nog aan het werk is. Ik zie een aantal schouders door de open deuren. In het aangrenzende laboratorium zijn nog meer mensen. We nemen een kijkje in het R&D-lab. Onderzoekers zitten op de grond een bundel kabels uit te zoeken of zitten voorovergebogen over tafels met optische instrumenten; ze werken met ratels of schuiven hun stofbril omhoog om zich te verdiepen in een bizarre ouderwetse