Henri Poincaré, een ongeduldig genie

Ferdinand Verhulst

Mathematisch Instituut, Universiteit van Utrecht

NWD 2 februari 2013

Familie leven

Nieuwe invloeden

Overzicht

Prijsvraag van Oscar II

Periodieke oplossingen

Openbaar leven

Universiteit Utrecht

Inhoud

Familie leven

Meetkunde en analyse

Overzicht van werk en leven

Prijsvraag van Oscar II

Periodieke oplossingen

Openbaar leven, enkele aspecten

Proloog

Op een zonnige middag, aan de buitenkant van Nancy, wandelde een moeder met haar kinderen, Henri en Aline. Ze wandelden langs een beekje met aan beide zijden paden die verbonden waren door een aantal bruggen. Henri, vijf jaar en twee jaar ouder dan zijn zusje, liep vaak vooruit, samen met hun hond Tom. Hij merkte plotseling dat zijn moeder en zus het water waren overgestoken en aan de andere kant wandelden. Zijn moeder gebaarde naar hem dat hij bij de volgende brug kon oversteken, maar Henri sprong meteen in het water dat tot zijn middel kwam waarna hij zich bij zijn moeder en zusje voegde.

Deze directe manier van probleem oplossen was zijn hele leven typerend voor hem. Ook het ongeduld.

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Henri, Aline met hond Tom

Familie leven

Nieuwe invloeden

Overzicht

Prijsvraag van Oscar II

Periodieke oplossingen

Openbaar leven

Universiteit Utrecht

De Poincaré en Launois families

- Gelukkige families
  (beroepen: medisch, apotheker, ingenieur,
  flora grootvader Poincaré)
  Familie Launois in Arrancy
- Ziekte
  (5 jaar oud, diphterie met verlamming van de benen en het spraakcentrum, rol Aline)
- Oorlog 1870-1871
  (16 years oud medisch assistent van zijn vader, leert Duits, traumatische ervaring voor de Fransen)
- Wonderkind?
  (buitengewoon snel, maar niet gespecialiseerd)

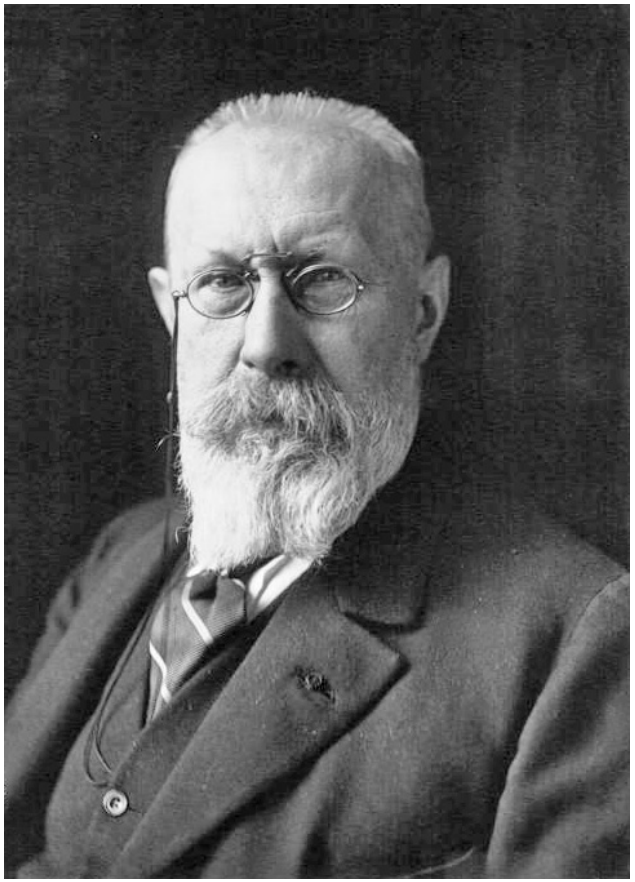
Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Op het Lyceum

Tussen school en academie volgde Henri van 1871-1873 de speciale klas op het lycée, de opleiding tot de 'Grandes Écoles'. In november 1871 deed hij zijn 'baccalauréat science': een klassieke examen nachtmerrie. Dit leverde een nul voor een van de vakken.
De examinatoren wisten dat Henri brilliant was en lieten hem slagen! (Cijfers van nul tot vijf; hij had $0,2$ voor schriftelijk en $3,4,2,4$ voor mondeling.)

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Paul Appell



In 1871 vluchteling uit de Elzas, ging naar zelfde lyceum in Nancy; ging verder op École Normale Supérieure, bleef altijd nabije vriend en collega, schreef biografie van Poincaré (1925).

Familie leven

Nieuwe invloeden

Overzicht

Prijsvraag van Oscar II

Periodieke oplossingen

Openbaar leven

De invloed van boeken

Op het lyceum las Henri buiten de schoolstof:
Cours d'Analyse de l'École Polytechnique van Jean Duhamel, analyseboek bij de colleges van de École Polytechnique waar Duhamel (1797-1872) hoogleraar was.
La Géométrie supérieure van Michel Chasles. Chasles (1793-1880) benadrukte de complementaire rol van analyse en meetkunde.
Gaston Darboux (1842-1917) schreef zijn proefschrift onder leiding van Michel Chasles; Darboux was een van de supervisors bij het proefschrift van Henri Poincaré.

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Gaston Darboux

Familie leven

Nieuwe invloeden

Overzicht

Prijsvraag van Oscar II

Periodieke oplossingen

Openbaar leven

Universiteit Utrecht

Invloed van Michel Chasles, oratie (1846)

> *Men kan de verschillende voordelen van Analyse en Meetkunde zien: de analyse gebruikt allerlei wonderlijke transformaties om snel van de vraag naar het antwoord te komen. Maar dikwijls weet je niet welke weg er is bewandeld en weet je niet wat de betekenis is van de vele formules die gebruikt zijn. Van de andere kant ontleent meetkunde zijn inspiratie aan bedachtzame beschouwing en aan het ordenen van ideeën. De meetkunde is verplicht om op een natuurlijke wijze uitspraken te ontdekken die de analyse kan verwaarlozen en negeren.*

Deze opinie contrasteert sterk met die van Lagrange, Laplace, Weierstrass en andere wiskundigen die analytische en algorithmische benaderingen voorstonden. Het werk van Poincaré staat in het teken van zowel analyse als meetkunde die elkaar aanvullen.
Vergelijk *computational mathematics* nu.

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Overzicht van Poincaré's leven

- Geboren in 1854, Nancy (Lotharingen).
- Schooljaren 1860-1873.
- École Polytechnique 1873-1875.
- École des Mines 1875-1879.
- Proefschrift over partïele differentiaalvergelijkingen, Parijs 1879.
- Mijningenieur in Vesoul/Ronchamps 1879.
- Docent wiskundige analyse in Caen 1879-1881.
- Huwde in 1881 Louise Poulain d'Andecy (kregen 4 kinderen).
- Benoeming aan de universiteit van Parijs (Sorbonne) 1881-1912.
- Overleden op 17 juli, 1912, 58 years oud.

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Overzicht van Poincaré's werk

- Automorfe functies, uniformisatie (complexe functietheorie)
- De kwalitatieve theorie van differentiaal vergelijkingen
- Bifurcatie theorie en periodieke oplossingen
- Asymptotische benaderingen, normaalvormen
- Dynamische systemen, integreerbaarheid
- Mathematische fysica
- Topologie (analysis situs)
- Filosofische essays

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Aankondiging van de prijsvraag

In 1885, kondigde Gösta Mittag-Leffler (hoogleraar in Stockholm) aan dat Koning Oscar II van Zweden en Noorwegen een wetenschappelijke prijsvraag uitschreef voor zijn 60ste verjaardag in 1889. Bijdragen moesten op 1 juni 1888 binnen zijn.

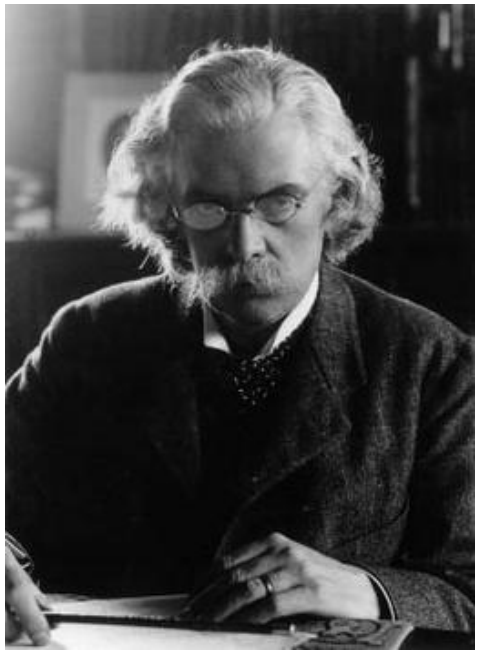
Er waren vier onderwerpen ter keuze. Probleem 1:
Dirichlet vertelde een vriend dat hij de vergelijkingen van Newton kon oplossen. Dat kon worden gebruikt om de stabiliteit van het Zonnestelsel aan te tonen! Dirichlet schreef dit echter niet op en de opdracht is om zijn redenering te reconstrueren.

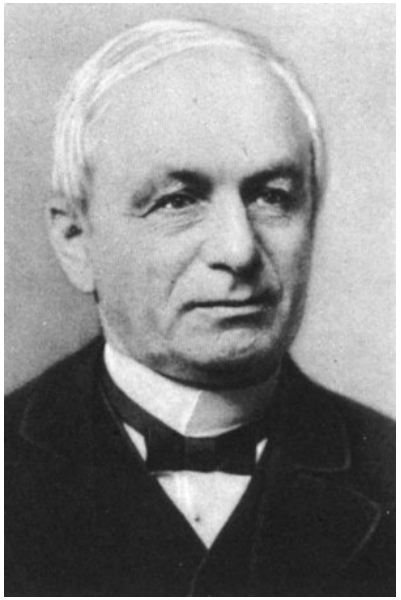
De andere drie onderwerpen gingen over automorfe functies en speciale functies. De commissie die de bijdragen moest beoordelen bestond uit Mittag-Leffler (vz, Stockholm), Weierstrass (Berlijn) and Hermite (Parijs).

Er was onmiddellijk een boze reactie van Kronecker.

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Mensen met een mening





Familie leven

Nieuwe invloeden

Overzicht

Prijsvraag van Oscar II

Periodieke oplossingen

Openbaar leven

Universiteit Utrecht

De inzendingen

Er kwamen 12 bijdragen binnen met 5 daarvan over probleem 1. De wiskundige Lars Phragmén kreeg de opdracht om ze te lezen en een voorselectie te maken. Hij verwierp er negen en de commissie bekeek de resterende drie. De bijdrage van Poincaré kreeg de eerste prijs, de bijdrage van Paul Appell een eervolle vermelding.

Familie leven

Nieuwe invloeden

Overzicht

Prijsvraag van Oscar II

Periodieke oplossingen

Openbaar leven

De uitgave van de bijdrage

De Franse kranten brachten de prijzen als een overwinning voor Frankrijk; Poincaré en Appell kregen het Légion d'Honneur. Begreep de commissie de bijdrage van Poincaré? Hermite schreef:

> *Poincaré's artikel is zo zeldzaam diepzinnig en inventief, dat het zeker een nieuw wetenschappelijk tijdperk zal inluiden, gezien vanuit de analyse en wat daaruit volgt. Maar er zijn veel uitgebreider verklaringen noodzakelijk en op het ogenblik ben ik bezig de vermaarde auteur om opheldering te vragen op een aantal punten.*

Ondertussen begon Phragmèn met de redactie van de twee bijdragen en hij had ook veel vragen. De oorspronkelijke bijdrage van Poincaré telde 158 bladzijden van de *Acta Mathematica*, Poincaré voegde 93 bladzijden toe met meer uitleg; één uitleg gaf moeilijkheden.

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Hoogtepunten van het prijs essay

- De recurrentie stelling
- Periodieke oplossingen; existentie en benaderingen
- Integreerbaarheid van het vlakke, beperkte drie-lichamen probleem

Poincaré merkte tot zijn ontsteltenis dat hij het integreerbaarheids resultaat niet kon verhelderen; draaide toen 180° en bewees niet-integreerbaarheid en homocliene chaos. Mittag-Leffler had de Acta editie al laten drukken en 20 exemplaren rondgezonden. Dat was een delicate zaak met Kronecker, Gyldén, Bohlin en andere teleurgestelde deelnemers. Poincaré betaalde 3500 Kronor voor de nieuwe druk, het prijsgeld was 2500 Kronor. (half jaarsalaris voor een Zweedse professor)

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Henri Poincaré, 35 jaar oud ten tijde van de prijsvraag

Familie leven

Nieuwe invloeden

Overzicht

Prijsvraag van Oscar II

Periodieke oplossingen

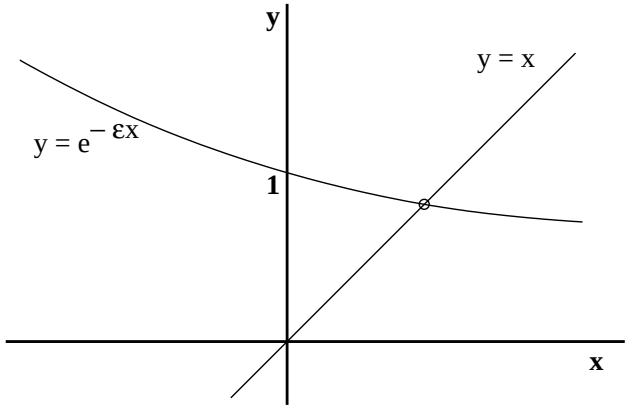
Openbaar leven

Universiteit Utrecht

De impliciete functie stelling 1

Bepaal het nulpunt van

$$f(x,\varepsilon) = x - e^{-\varepsilon x},$$



Voor $\varepsilon = 0$ geldt $f(x,0) = x - 1$ en dit brengt ons op het idee dat voor kleine positieve waarden van ε het nulpunt in de buurt van 1 zal liggen. Substitueer

$$x = 1 + \varepsilon x_1 + \varepsilon^2 x_2 + \dots$$

waarbij $x_1, x_2, \dots$ getallen zijn. Gebruik de Taylorreeks

$$e^{-\varepsilon x} = 1 - \varepsilon x + \frac{1}{2}\varepsilon^2 x^2 + \dots$$

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Universiteit Utrecht

De impliciete functie stelling 2

We vinden voor het nulpunt

$$x = 1 - \varepsilon + \frac{3}{2}\varepsilon^2 + \dots$$

Is dit een correcte benadering van het nulpunt?
Dat dit antwoord correct is volgt uit **de impliciete functie stelling**. Deze luidt als volgt:
Beschouw de (een aantal keren differentieerbare) functie $F(x, \varepsilon)$, gedefinieerd voor $x \in \mathbb{R}$ met $\varepsilon \geq 0$. Stel we vinden een nulpunt x_0 uit de vergelijking

$$F(x, 0) = 0.$$

Dan geldt voor kleine, positieve waarden van ε voor het nulpunt van $F(x, \varepsilon)$ de volgende benaderende machtreeksontwikkeling

$$x_0 + \varepsilon x_1 + \varepsilon^2 x_2 + \dots$$

mits geldt

$$\frac{\partial F}{\partial x}|_{x=x_0, \varepsilon=0} \neq 0.$$

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Het zonnestelsel 1

In het boven genoemde voorbeeld geldt

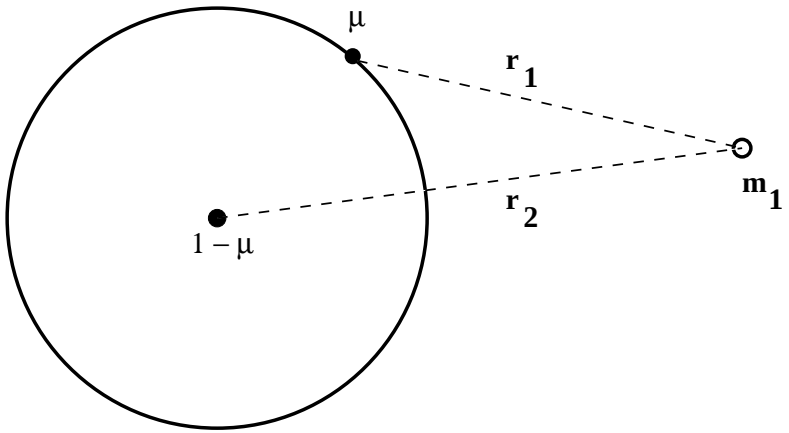
$$\frac{\partial f}{\partial x} = 1 + \varepsilon e^{-\varepsilon x},$$

zodat voor $x = 1$, $\varepsilon = 0$ aan de voorwaarde voldaan is.
In de 18e eeuw, toen de wiskundige analyse begon te bloeien, ontdekte men als snel dat allerlei vergelijkingen niet eenvoudig waren op te lossen, maar dat je in een groot aantal gevallen wel benaderingen van de oplossingen kon maken.
Interessant is het benaderen van oplossingen van de grote problemen van de mathematische fysica. In de 18e eeuw kende men de oplossingen van het gravitationele twee-lichamen probleem. Bijvoorbeeld de beweging van een planeet zoals de Aarde om de Zon. Was het dan niet natuurlijk om hetzelfde soort storingstechnieken toe te passen op de differentiaalvergelijkingen van het zonnestelsel? Bijvoorbeeld de beweging van het stelsel Zon-Aarde-Maan of van het stelsel Zon-Jupiter-asteroïde.

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Het zonnestelsel 2

Dit idee leidde tot veel lange berekeningen, waarbij de Franse astronoom-wiskundigen Clairaut, Lagrange en Laplace zich in het bijzonder onderscheidden.



Het circulaire, beperkte drie-lichamen probleem met massa's $1-\mu, \mu$ en m_1, waarbij $0 < \mu < 1$ en $0 < m_1 << 1$. Als $m_1 = 0$ dan bewegen de twee andere massa's om elkaar in cirkelbanen. De aanduiding 'beperkte' geeft aan dat de drie lichamen zich in één vlak bewegen. Dit probleem was een van de basisvoorbeelden van Poincaré; er is nu veel over bekend, maar het is in zijn algemeenheid nog steeds niet opgelost.

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

De oplossing van Poincaré 1

In de loop van de 19e eeuw werd men zich bewust van de noodzaak van convergentie van reeksen. Zo weet men nu dat de reeksontwikkelingen van Lagrange en Laplace voor de beweging van het zonnestelsel bij willekeurige beginvoorwaarden *niet* convergent zijn. Maar hoe dan wel de oplossingen te benaderen? Dit was een van de grote vragen van de mathematische fysica die aan het eind van de 19e eeuw gesteld werd.

De Zweedse wiskundige Lindstedt bedacht een methode om periodieke oplossingen te vinden van tweede orde nietlineaire differentiaalvergelijkingen:

$$\ddot{x} + x = \varepsilon f(x, \dot{x}).$$

Voor $\varepsilon = 0$ zijn alle oplossingen periodiek in de vorm van een lineaire combinatie van $\sin t$ en $\cos t$. Dit zijn 2π-periodieke functies. Als er periodieke oplossingen voor kleine $\varepsilon > 0$ bestaan, dan zal de periode in de buurt van 2π liggen en ontwikkelbaar zijn in een machtreeks van ε.

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

De oplossing van Poincaré 2

Dat zelfde geldt voor de beginvoorwaarden waar de periodieke oplossing start, ook die ontwikkelen we in een machtreeks van ε. Goed idee, maar door Lindstedt alleen uitgevoerd voor tweede orde vergelijkingen en zonder een enkel bewijs. Poincaré las het werk van Lindstedt en realiseerde zich dat deze rekenprocedure correct was als je op de coëfficïenten van de machtreeksontwikkelingen de impliciete functie stelling kon toepassen. Hij generaliseerde dit idee meteen tot differentiaalvergelijkingen van willekeurig grote orde en leverde daarmee zowel een bewijs van existentie van periodieke oplossingen als een techniek voor benadering. Hij zag daar allerlei toepassingen voor, bijvoorbeeld in de draadloze telegrafie en in het gravitationele drielichamen probleem.

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Poincaré's toepassingen

Voor het drielichamen probleem dat geschetst is in de figuur geldt, dat de kleine parameter wordt gegeven door de massaverhouding van de derde (kleinste) massa en de andere twee massa's. Poincaré onderscheidt drie types gestoorde periodieke banen:

1. De beweging blijft in een vlak (de baan-inclinaties zijn nul), de eccentriciteiten van de banen zijn klein.
2. De beweging blijft in een vlak (de baan-inclinaties zijn nul), maar de eccentriciteiten van de banen zijn niet klein.
3. De inclinaties zijn niet nul, er vindt beweging buiten het vlak van de eerste twee lichamen plaats.

Je kunt ook uitgaan van het gestoorde twee-lichamen probleem waarbij de twee lichamen in ellipsbanen om elkaar heen bewegen. Dan begin je al met een positieve eccentriciteit.

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Bifurcaties 1

Typerend voor Poincaré: hij bewees en generaliseerde niet alleen een methode, maar ging ook na wat er gebeurde als er niet aan de voorwaarden van zijn bewijs was voldaan. Dat leidde tot een nieuw vakgebied: bifurcatietheorie. Voorbeeld: tweedegraads algebraïsche vergelijking

$$f(x, \varepsilon) = x^2 - 2x + 1 - \varepsilon = 0.$$

$\varepsilon = 0$ levert de vergelijking $x^2 - 2x + 1 = 0$ met samenvallende oplossingen 1. De impliciete functie stelling eist $2x - 2 \neq 0$ in een omgeving van $x = 1$ en $\varepsilon = 0$. Daar is *niet* aan voldaan. De abc-formule geeft de wortels:

$$1 \pm \sqrt{\varepsilon}.$$

Door de ε-storing takken dus van de dubbele wortel $x = 1$ twee wortels af die groeien met $\sqrt{\varepsilon}$. Dit heet een bifurcatie, letterlijk 'twee-vork'.

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Bifurcaties 2

Er zijn verschillende soorten bifurcaties en Poincaré analyseert er enkele, bijvoorbeeld de 'transkritische bifurcatie'; hij bestudeert ook zeer uitvoerig de bifurcatie die later naar Hopf werd genoemd. Het blijkt dat als we periodieke oplossingen zoeken van differentiaalvergelijkingen terwijl er niet is voldaan aan de voorwaarden van de impliciete functie stelling, er op analoge wijze meer dan één oplossing kan aftakken van een van de oplossingen die bij $\varepsilon = 0$ bestaat.

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

De Dreyfus affaire

In 1894 ontdekten de Fransen dat geheime inlichtingen van de Generale Staf waren terecht gekomen in Duitsland. Er diende één Frans-Joodse officier bij de Generale Staf, Alfred Dreyfus, die onmiddellijk werd gearresteerd. Een van de aanklagers, Bertillon, hobbyde in grafologie en vond een 'bewijs' van 'auto-vervalsing' in de buitgemaakte inlichtingen.
In 1894 werd Dreyfus schuldig verklaard aan hoogverraad en levenslang verbannen naar Duivels Eiland, een gevangenis-eiland van French Guyana (bij Suriname).
Het handschrift werd later geïdentificeerd met dat van een andere officier, Esterhazy, die Frankrijk in 1898 ijlings had verlaten. Er waren heftige demonstraties met tienduizenden mensen pro and contra de veroordeling van Dreyfus. Een aantal mensen kwamen hierbij om het leven.

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

De Dreyfus affaire, vervolg

Na vele protesten werd in 1899 het proces heropend. De Academie van Wetenschappen werd hierbij gevraagd de wetenschappelijke betekenis van de bewijzen tegen Dreyfus te beoordelen. Een commissie van de Akademie had Poincaré als voorzitter, Darboux en Appell als leden. Poincaré schreef in zijn eindrapport:

> *Er zit niets wetenschappelijks in de bewijzen en ik begrijp uw ongemak niet. Zulke redeneringen kunnen onmogelijk serieus worden genomen door mensen die in wetenschap zijn opgevoed en zonder vooroordeel zijn.*

Dreyfus werd echter opnieuw schuldig bevonden. In 1903 vond men dat 'bewijs' door de aanklagers vervalst was en het proces werd opnieuw heropend in 1906. In het derde proces werd Dreyfus onschuldig verklaard en hij kreeg zijn officierspositie in het leger terug.

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Filosofische essays

Poincaré werd allereerst bij een groter publiek bekend toen hij de prijsvraag van Oscar II won. Daarna kreeg hij ruime bekendheid door de Dreyfus affaire en vooral door zijn filosofische en populaire artikelen in kranten en tijdschiften. Die gingen gepaard met allerlei publieke discussies, onder anderen over de vraag of de Aarde roteert (de oude kwestie Galilei !). Zijn filosofische essays zijn gebundeld in:

- La Science et l'Hypothèse (1902) (21 000 ex. verkocht tot 1914)
- La Valeur de la Science (1905)
- Science et Méthode (1908)
- Dernières Pensées (1913)

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Filosofisch essay over ‘uitvinden’ van wiskunde

Toen hij nog in Caen werkte, rond 1880, ging hij een paar dagen op geologische excursie in Normandië:

> *De gebeurtenissen op de excursie maakten dat ik mijn wiskundige werk vergat. Toen we in Coutances aankwamen, stapten we op een bus. Juist toen ik mijn voet op de tree zette, kreeg ik het idee, hoewel niets mij daarop voorbereid had, dat de transformaties die ik had gedefinieerd voor Fuchse functies, identiek waren met die van de niet-Euclidische meetkunde. Ik kon niet nagaan of het klopte, ik ging door met de conversatie van het moment, maar ik voelde onmiddellijk absolute zekerheid.*

Dit werd de eerste “niet-exotische” toepassing van niet-Euclidische meetkunde.
Poincaré beschrijft andere ervaringen zoals ‘ontwaken met de oplossing van een wiskundig probleem’. Activiteit van het onbewuste!

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

De bus in Coutances, 1880

Familie leven

Nieuwe invloeden

Overzicht

Prijsvraag van Oscar II

Periodieke oplossingen

Openbaar leven

Universiteit Utrecht

Filosofische essays, wiskundig conventionalisme

De opbouw van de wiskunde vereist axioma's, maar je bent vrij in je keuze daarvan zolang de onstane wiskundige theorie consistent is (geen tegenspraken). De axioma's noemt Poincaré conventies.
Dit is niet alles. Hij merkt verder op dat in de grondslagen van de wiskunde intuïtie een fundamentele rol speelt. Voorbeeld: de rechtvaardiging van volledige inductie.
Dit is volledig in strijd met de ideeën van Russell en Hilbert.
Echter, waar Poincaré de existentie van een wiskundige grootheid verbindt met 'geen-tegenspraak' stemt hij ook niet overeen met het intuitionisme van Brouwer.

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Filosofische essays, natuurkundig conventionalisme

Conventionalisme in de natuurwetenschappen is van geheel andere aard. Beschouw eens de beweging van de Aarde die dagelijks roteert om zijn as en jaarlijks om de Zon beweegt. Dit is een beschrijving van relatieve beweging, er bestaat geen methode om absolute beweging vast te stellen. Onze beschrijving is de handigste en eenvoudigste: een convenient hypothesis of goed bruikbare hypothese die gebaseerd is op ervaring en bruikbare theorie (Newton's wetten van de dynamica, waarnemingen, de afplatting van de Aarde, de slinger van Foucault, de draaiingsrichting van tornadoes enz.)
Opmerking: Poincaré gebruikt de term 'conventionalisme' helaas zowel voor wiskunde als natuurkunde.
Deze filosofische overwegingen veroorzaakten veel publieke discussies met logici, maar ook met ultra-orthodoxe Rooms-Katholieken (Galilei had het verkeerd !).

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven

Henri Poincaré was uitzonderlijk creatief in zuivere en toegepaste wiskunde, in natuurkunde, sterrenkunde en filosofie.

Dank u voor uw belangstelling!

Familie leven
Nieuwe invloeden
Overzicht
Prijsvraag van Oscar II
Periodieke oplossingen
Openbaar leven