

## Semi-Vluchtige stoffen in een Komeet (SeVoCo)

### Context

Kometen worden beschouwd als de meest onveranderde objecten in ons zonnestelsel. Door ze te bestuderen, krijgen we inzichten in de chemische samenstelling van de protoplanetaire schijf (4,6 miljard jaar geleden) en de rol die kometen speelden in de evolutie van de aarde en het zonnestelsel.

BIRA-IASB hielp bij de ontwikkeling van het ROSINA-instrument (Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis), ontworpen om de gascompositie van komeet 67P te meten. Dankzij de hoge massaresolutie kon ROSINA's Double Focusing Mass Spectrometer (DFMS) de samenstelling van de coma in ongekend detail analyseren. Dit leidde tot de ontdekking van een grote verscheidenheid aan moleculen. De studie van vluchtige stoffen leverde waardevolle inzichten op over de komeet, zijn vorming en de vroege geschiedenis van ons zonnestelsel.

Het SeVoCo-project richt zich op een minder bekende groep stoffen in de coma: de semi-vluchtige verbindingen. Geen enkel Rosetta-instrument was specifiek ontworpen om deze direct te meten en alleen uit ROSINA/DFMS-metingen kan mogelijk indirect meer over deze stoffen worden geleerd. Semi-vluchtige stoffen zijn minder vluchtig dan de belangrijkste coma-gassen ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$  en  $\text{CO}_2$ ) en worden gekenmerkt door een vertraagde vrijgave vanuit de komeetkern of stofdeeltjes, afhankelijk van de afstand tot de komeet. Dit fenomeen staat ook bekend als een 'verdeelde bron'.

### Doelstellingen

Het SeVoCo-project onderzoekt of bepaalde stoffen in de coma afkomstig zijn van een verdeelde bron, om zo meer inzicht te krijgen in semi-vluchtige verbindingen.

### Methodologie

Effecten die nauwelijks invloed hebben op vluchtige stoffen met een grote abundantie (zoals  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  en  $\text{O}_2$ ), kunnen bij het bepalen van minder voorkomende stoffen wel een grote rol spelen. Omdat semi-vluchtige stoffen naar verwachting slechts in kleine hoeveelheden aanwezig zijn, richtte een groot deel van het project zich op het verbeteren van de massakalibratie van DFMS. Een nauwkeurige massakalibratie is essentieel voor het correct identificeren van stoffen in een massaspectrum en voor het creëren van somspectra. Somspectra helpen bij het detecteren van minder voorkomende stoffen, waaronder semi-vluchtige verbindingen. Door spectra samen te voegen als een somspectrum, wordt de meetonzekerheid verkleind en kunnen stoffen zichtbaar worden die anders verborgen blijven rond de instrumentele detectielimiet.

### Resultaten

Als eerste stap werden half-automatische routines ontwikkeld om problematische spectra te identificeren en te corrigeren. Met de opgekuisde dataset werd de aanwezigheid van  $\text{Cl}$ ,  $\text{HCl}$  en de  $^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ -isotopenverhouding in de coma gedurende de volledige missie geanalyseerd.

De gemiddelde  $^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ -isotopenverhouding werd vastgesteld op  $0,336 \pm 0,017$ , met een  $\delta^{37}\text{Cl}$ -waarde van  $51 \pm 55$ . Dit komt overeen met de isotopenverhoudingen op aarde en andere lichamen in het zonnestelsel. Er werd echter meer  $\text{Cl}$  aangetroffen dan verklaard kon worden door alleen  $\text{HCl}$  en  $\text{NH}_4\text{Cl}$  op de komeet, wat naar een extra bron van  $\text{Cl}$  wijst. Dit chloor komt niet direct vrij uit de komeetkern of stofdeeltjes, wat duidt op een verdeelde bron. De identiteit van deze bijkomende  $\text{Cl}$  bron kon echter niet worden vastgesteld.

Daarnaast werd een model ontwikkeld voor nauwkeurige massakalibratie van spectra met een nominale massa tussen 13 en 69, en dit gedurende de gehele missie. Hoewel DFMS een feedbacksysteem heeft om temperatuureffecten te compenseren, bleken resterende thermische en thermomechanische effecten toch nog een invloed te hebben op de massakalibratie. Het nieuwe model leidt tot een preciezere massakalibratie (tot beter dan 1 detectorpixel) en maakt het zo mogelijk somspectra te maken.

Verder werden enkele minder voorkomende stoffen die door DFMS zijn gedetecteerd, gelinkt aan refractaire elementen zoals silicium (Si), natrium (Na) en ijzer (Fe). Zo bleek Si relatief overvloedig aanwezig tijdens off-pointing gebeurtenissen, wat wijst op een gelijkmatige verspreiding van atomair silicium in de coma, mogelijks afkomstig van een verdeelde bron. Hoe deze refractaire elementen precies in de gasfase terechtkomen, blijft echter onduidelijk en vereist verder onderzoek.

### Conclusies en aanbevelingen

Het SeVoCo-project heeft aangetoond dat Cl en bepaalde refractaire elementen een verdeelde bron hebben. De term 'semi-vluchtig' is mogelijk niet de meest accurate benaming voor deze stoffen, omdat het suggereert dat vluchtigheid de enige factor is die hun vrijkomen in de coma bepaalt. Het is echter onwaarschijnlijk dat het vrijkomen van Cl en refractaire stoffen uitsluitend wordt bepaald door hun vluchtigheid op stofdeeltjes. Waarschijnlijk komen deze stoffen vrij via een vertraagd proces vanuit (nano)deeltjes, al is het mechanisme hiervan nog onbekend.

Het tijdens het project ontwikkelde massakalibratiemodel heeft aangetoond dat extra correcties nodig zijn voor een nauwkeurige massakalibratie van massaspectrometers met een magnetische sector in de ruimte.

Somspectra hebben ons toegelaten nog dieper in de data te gaan. De meeste gedetecteerde stoffen konden worden gekoppeld aan reeds bekende verbindingen of hun isotopen, maar er zijn nog een aantal minder voorkomende verbindingen gevonden die tot nu toe niet eenduidig konden worden geïdentificeerd. Verder onderzoek van de somspectra en individuele DFMS data is nodig om hier uitsluitsel te kunnen geven.

### Sleutelwoorden

Kometen, Komeetatmosfeer, Rosetta missie, Gasanalyse, Massaspectrometrie