

# 1 SW

Literatur: Vasyliunas and Siscoe, 1976; Aschwanden, 2005; Geiss et al., 1995; Cranmer, 2012

Andreas:

- Zusammensetzung: 97 %  $H^+$ , 3 %  $He^{2+}$ , schwerere Ionen
- langsamer SW: Bulk speed  $400 \text{ km s}^{-1}$ ,  $n_p = 6 \text{ cm}^{-3}$ ,  $T_P = 10^5 \text{ K}$   
Ursprung: vage
- schneller SW: Bulk speed  $700 \text{ km s}^{-1}$ ,  $n_p = 2 \text{ cm}^{-3}$ ,  $T_P = 2.5 \cdot 10^5 \text{ K}$   
Ursprung: koronale Löcher mit offenen Magnetfeldlinien, außerdem andere andere Ladungszustandskomposition
- Stream Interaction Regions, Corotating Interaction Regions: CIRs
- CMEs
- Interplanetares Magnetfeld: Eingefroren ins SW-Plasma  $\rightarrow$  wird nach außen in Heliosphäre getragen. Rotation der Sonne ( $T \approx 24.5$  Tage) führt zu Parkerspirale. Parkerwinkel gibt Orientierung des Magnetfeldes an.

## 1.1 Local Interstellar Medium und Grenzen

- von Andreas: Steckbrief, Elementhäufigkeiten...
- Heliosphäre: Bereich, der von Sonnenwindplasma dominiert wird
- Termination Schock: SW fließt innen supersonisch, muss aber abbremsen, weil er aufs LISM trifft. Hier wird er gerade subsonisch. Abstand: variabel (94 AU, 84 AU)
- Dahinter: Heliosheath (gehört auch noch zur Heliosphäre)– SW wird komprimiert und geheizt. Asymmetrie wegen relativer Bewegung der Heliosphäre gegen das LISM
- Heliopause: Äußere Grenze der Heliosphäre: Zwei magnetisierte Plasmen (LISM, SW) können sich nicht durchdringen. LISM wird auch komprimiert  $\rightarrow$  Bow Shock LISM-seitig. Existenz fraglich, s. Andreas S. 5
- andere Elementekomp. als Heliosphäre  $\rightarrow$  nicht aus der Sonne
- die meisten Elemente liegen ionisiert vor, wegen geringem Strahlungseinfall
- Relativbewegung: IBEX, Schwadron 2015; Magnetfeld: s. DissAndreas 1.2
- Prölss S. 350 ff.

- unterschiede geladenen und neutralen Anteil – Neutralgas: kann ungehindert in Heliosphäre eindringen, wird vor Heliopause etwas ausgedünnt, trotzdem dichteste Population in äußerer Heliosphäre
- Warum wenig C und Fe? niedriges Ionisationspotential → liegen nicht als Neutralteilchen vor

## 2 PUI

- Allgemein: frühere Neutralteilchen, die innerhalb der Ionosphäre ionisiert werden.
- Auf Neutralteilchen wirken in der Heliosphäre nur: Gravitationskraft und Strahlungsdruck. Ionisierung: Zusätzlich em. Kräfte  $\rightarrow$  Lorentzkraft führt zu Gyration um Magnetfeldlinien und wird nach außen mitgezogen (“gepick-up”)
- Ionisierung durch:
  - Photoionisation durch energiereiche UV-Strahlung (für He, C, Ne); UV nimmt mit  $r^2$  ab
  - Ladungsaustausch mit SW-Protonen (für H, lt. Wimmer S. 105 ??)  
 $\rightarrow$  Wasserstoffatom und PUI ??
  - $\rightarrow$  beide zu gleichen Teilen für O und Ar
  - Elektronenimpakt
- Fluss an nose der Heliosphäre nach VuS-Modell:

$$f_{O^+} = 6.13 \cdot 10^0 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$f_{He^+} = 3.06 \cdot 10^2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

- Einfluss der Eigengeschwindigkeit der Neutralteilchen (und implizit der Longitude des PU-Prozesses): Drews et al., 2015 S. 8
- Ionisation rates determine which species is found where: The bulk of interstellar PUIs at 1 AU, e.g. He<sup>+</sup> further inside, s. Vasyliunas and Siscoe, 1976

### 2.0.1 Neutralteilchendichte

Berechnung s. Wimmer ca. S.100; damit Berechnung Neutralteilchendichte mit den beiden (s.u.) Ionisationsprozessen; Berechnung PUI-Fluss durch Integration der Anzahl der ionisierten Teilchen entlang Radius-Vektor zu entsprechendem Ort.

Ergebnis: Abhängig von Dichte ( $n_{\text{inf}} \approx \frac{0.05}{\text{cm}} - \frac{0.25}{\text{cm}}$ ) und Geschwindigkeit Neutralteilchen im LISM, Einfallswinkel, Ionisationsrate des Elements, Stoßparameter (?)

$\rightarrow$  steigender Fluss mit heliozentrischer Distanz. @1AU z.B.  $2.5 \cdot 10^{-5}$ -mal SW-Ne-Fluss

### 2.0.2 Geschichte

- Vorhersage: u.a. Fahr 1971

- Nachweis: Moebius 1985. SULEICA (suprathermal energy ionic charge analyser)/AMPTE(active magnetospheric particle tracer explorer).
- SULEICA: Flugzeit-Massenspektrometer mit EpQ-Range  $5 - 270 \text{ keV}/q$
- über mehrere Beobachtungsperioden: Peak @  $\text{MpQ}=4$  in EpQ-Schritten, die zu höherer Energie gehören, als für SW-Helium+ zu erwarten wäre (Moebius 1985)

### 2.0.3 Einfluss der PUIs *auf* SW

- Ladungsaustausch führt zu energetic neutral atoms (ENAs), die Impuls aus SW nehmen
- SW wird durch Beschleunigen der PUIs abgebremst (*mass loading*, auch adiabatische Kühlrate wird verlangsamt? s. Wimmer) → wird irgendwann subsonisch; Wang: Abbremsen um 15% (aber irgendwie erst weiter außen? Frage Talk 2)
- Photoionisation führt zur Dämpfung des Photonenflusses aus der Heliosphäre und zur Ionenflusszuwachs
- PU process: Excitation of magnetic waves (Cannon 2014)

## 2.1 Interstellare PUIs

(Woher? Lars?)

- besonders hier nicht-maxwellsche VDF
- Grund: VDF vor PU-Prozess ist anisotrop: Torusform in v-Raum
- PA-scattering würde dann zur schnellen Isotropisierung führen
- Aber: neuerdings weiterhin Anisotropie beobachtet
- geben Aufschluss über Lokales Interstellares Medium (In-situ Information wird mitgetragen). Bsp. Einfallrichtung. Allerdings schwierig, weil VDF durch turbulenten SW geändert wird

Andreas Diss:

- Neutralgaskomponente des LISM kann in die Heliosphäre eindringen und wird dann nur von der Gravitations- und Strahlungsdruckkraft der Sonne beeinflusst.
- Strahlungsdruck beeinflusst vor allem Wasserstoff (Lars: wird defokussiert) → wenig Vorkommen in der inneren Heliosphäre (McComas 2004)

- Wasserstoff wird auf dem Weg auch häufig ionisiert (Kallenbach 2000)
- → Deshalb: @ 1AU ist  $He^+$  häufigstes PUI (obwohl Verhältnis Helium zu Wasserstoff im LISM andersherum ist)
- 
- unterscheidet geladenen und neutralen Anteil – Neutralgas: kann ungehindert in Heliosphäre eindringen, wird vor Heliopause etwas ausgedünnt, trotzdem dichteste Population in äußerer Heliosphäre
- weiter innen: Ionisation durch
  - EUV-Strahlung der Sonne: Photoionisation
  - Ladungsaustauschstöße mit Sonnenwindprotonen (beide Prozesse skalieren mit  $r^{-2}$ )
- → auf Teilchen wirken dann em. Kräfte
- höhere thermische Energie als SW-Teilchen: Relativgeschwindigkeit zum SW?
- zwei Orte erhöhten PUI-Flusses:
  - Focusing Cone: Downwind-Seite der Sonne @1AU mit erhöhtem Fluss (Möbius 1995). Grund: Gravitationskraft fokussiert Neutralteilchen (*gravitational focusing*, nachgucken!) → höhere PUI-Produktionsrate
  - Crescent: Upwind-Seite (Drews 2012). Grund: In direkter Upwind-Seiten-Richtung wird geringster Weg zurückgelegt → weniger Ionisation
  - Beide Orte sollten auf einer Linie in Richtung des LISM-Flusses liegen → man kann Einfallsrichtung bestimmen. Problem: Transport der PUIs entlang Parkerspirale → systematischer Fehler

## 2.2 Inner-Source PUIs

Entdeckung (Geiss 1995a): man hat global-verteilte  $C^+$ -PUIs gefunden (gleiche Häufigkeit wie einfach ionisierten Sauerstoff). Weil Kohlenstoff im LISM fast nicht neutral vorkommt, können sie auch nicht von außen in die Heliosphäre.

Charakterisierung (Allegrini 2005):

- Komposition ähnlich dem SW (Interpretation: SW muss irgendwie in Entstehung involviert sein)
- VDF ähnlich einer thermalen Verteilung mit Peak bei  $\omega \approx 1$  (Interpretation: Quelle nahe der Sonne, sodass PUIs mit SW thermalisieren können. Dafür müssten die Neutralteilchen aber relativ zum SW in Ruhe gewesen sein.)

- Produktionsrate von etwa  $2 \cdot 10^6 \text{ g s}^{-1}$   
(← Effizienter Prozess)
- zufällig verteilter Fluss, der unabhängig vom solaren Zyklus variiert  
(← Quelle zufällig um Sonne verteilt, wird nicht von z.B. CMEs beeinflusst); außerdem Wimmer S. 118: Fluss deutlich höher als der von SW-Ionen

Zusätzlich durch Berger 2015, Taut, Drews:

- inner-source PUI-flow von  $O^+$  korreliert mit SW-Fluss  $O^{6+}$   
→ SW selbst muss Primärquelle sein)
- Systematische Variation der inner source PUI-Komposition mit SW Geschwindigkeit
- Untersuchung der Anisotropie bzgl. interstellares MF  
→ Ein Teil der  $C^+$ -PUIs muss bei 1 AU entstehen

### 2.2.1 Woher?

Drei Ideen:

1. SW-Recycling: Staubkörner werden in der Nähe der Sonne mit SW-Ionen angereichert bis zur Sättigung. SW-Ionen können Staubkorn dann als Neutralteilchen wieder verlassen

Problem:

Prozess zu ineffizient;

Wahrscheinlich würde Staub hierbei auch zerstäuben und das würde wiederum die Komposition ändern.

2. SW-Neutralisierung: SW-Ionen durchdringen kleine Staubkörner und verlieren dabei ihre Ladung

Problem:

Solch kleine Staubkörner würden mit CMEs nach außen getragen – daraus ergäbe sich eine Abhängigkeit vom solaren Zyklus.

3. Streifende Kometen: Wenn Kometen in die Nähe der Sonnen kommen, können sie Neutralmaterial freigeben oder sich auflösen → Material für inner-source PUIs

Problem:

Elementkomposition von Kometen ist ganz anders als die des SW;

Zufällig verteilter Fluss ist so unwahrscheinlich

4. Staub-Staub-Kollisionen: Staubkörner laufen spiralförmig in die Sonne und kollidieren dabei. Irgendwann: Kollisionsverdampfung → schwere Neutralteilchen

Problem: Auch Staubteilchen haben andere Elementkomposition als SW

5. Hochenergetische Neutralteilchen: Ladungsaustausch zwischen interstellaren PUIs und PUIs aus dem Kuiper-Gürtel (Staub). Dabei entstehende Neutralteilchen kehren dann zur Sonne zurück.

Problem:

VDF würde mehr der von interstellaren PUIs ähneln;

Es gäbe kein  $Si^+$ , weil das auf dem Weg zur Sonne ionisiert würde

Zu 1 und 2: Hier entstehen PUIs direkt aus SW-Ionen. Komposition muss trotzdem nur ähnlich aber nicht haargenau gleich sein, weil unterschiedliche Ionisationswahrscheinlichkeiten eine Rolle spielen können.

### 2.2.2 Aus Wimmer S. 118

- mit SW thermalisiert  $\rightarrow$  Ursprung nahe der Sonne

## 2.3 Geschwindigkeitsverteilung

Diss Andy:

- Neutralteilchen haben Geschwindigkeit  $v_n \ll$  Sonnenwindgeschwindigkeit  $v_{sw}$  (jedenfalls interstellare PUI, bei inner-source PUIs weiß mans ja nicht so genau...)
- $\rightarrow$  Interstellar PUIs: Neutralteilchen dringen in Heliosphäre ein mit  $\approx 25.4 \text{ km s}^{-1}$  und können dann bei 1 AU auf maximal  $\approx 50 \text{ km s}^{-1}$  beschleunigt werden (durch Gravitation). Vgl:  $v_{sw} \approx 400 \text{ km s}^{-1}$

Theorie:

- langsamere PUI:  
durch adiabatisches Kühlen. S. Wimmer ET2 in PUI-Kapitel
- schnellere PUI:  
(häufig übergangen:) Wie werden die beschleunigt?  
wahrscheinlich durch kIR ( $\leftarrow$  nur langsamer SW!)

Kladde S. 27: B-parallele Komponente zeigt: Phasenraumtransporte finden statt!

Drews et al., 2015: Local Bfield determines inclination of torus distribution directly after injection process, but global field influences the evolution of the CDF, tightly related to spatial diffusion and transport (Chalov and Fahr, 1998, Oka 2002, Drews et al., 2013, Chalov 2014)

Lars: Die Injektion findet hoch anisotrop im Phasenraum statt. Die Breite vom Torus kommt dadurch zustande, dass Injektion den Radius festlegt ?

### 2.3.1 Isotropisierung

Vasyliunas und Siscoe:

- Betrachtung für Wasserstoff
- Ideale VDF (anisotrop) ist instabil gegen verschiedene Plasmawellen : Pitch Angle- und Energiediffusion
- davon unabhängig: adiabatisches Kühlen, während die Ionen nach außen transportiert werden
  - alte Annahme: Zeitskalen der Instabilitäten  $\tau_\kappa, \tau_\alpha \ll \tau_f$ , der Zeitskala für Sonnenwindausbreitungsgeschwindigkeit  $\rightarrow$  Thermalisierung durch Randomisierung durch Plasmawellen, Ununterscheidbarkeit von SW-Ionen
  - neue Annahme a: Zeitskalen der Instabilitäten größer als Flusszeitskala  $\rightarrow$  Randomisierung, Isotropisierung vernachlässigbar, VDF wird nur geändert durch adiabatische Effekte  $\rightarrow$  Pitchwinkel bleibt gleich
  - neue Annahme b: nur Zeitskala der Pitch-Angle-Diffusion kleiner als Flusszeitskala:  $\tau_\alpha \ll \tau_f \ll \tau_\kappa \rightarrow$  schnelles Pitch-angle-scattering bis hin zur Isotropie, Energieänderung vernachlässigbar  $\rightarrow$  Pitchwinkel wird randomisiert mit  $\cos(\alpha)$  zwischen 1 und -1
- Beobachtung: keine Thermalisierung beobachtet  $\rightarrow$  alte Annahme falsch
- Thermische Energie  $K = K_0 \frac{1}{2} v_{SW}^2$  nimmt aufgrund adiabatischer Deceleration ab.
  - Fall a: Berechnung über Konstanz der 1. adiabatischen Invarianten:  $K^1 r = \text{const}$
  - Fall b: Berechnung über adiabatisches Gesetz für isotrope Gase:  $K^{\frac{3}{4}} r = \text{const}$
  - $\rightarrow$  Aus thermaler Energie lässt sich dann berechnen, bei welchem  $r$  das Teilchen entstanden ist

### 2.3.2 Zweifel an PA-Scattering

- Gloeckler 1998, Möbius 1998: Flux hängt von B-Richtung ab
- Saul 2007: irgendwas mit wave power
- $\rightarrow$  Lösung:
  - Isenberg 1997: Hemispheric Model
  - Möbius 1998: Two-Stream-Model
  - beide: erklären Beobachtungen durch ineffektives Scattering über 90 Grad PA



### 2.3.3 Oka, 2002 (Geotail)

- Für PAS braucht es kurzen mean free path
- Für PUIs: verschiedene Ansichten (1AU oder 0.25 AU)
- longer mean free path: geringe PAS-rate: Torus statt Isotropie
- Torusform hängt von B-feld ab
- Paper Drews et al., 2013: *unfortunately their observations lack the required angular resolution and collection power to resolve the relation between  $v_P$  and the IMF*

### 2.3.4 Unterscheidung von SW-Ionen

- (außer Wasserstoff, “Pickup-Protonen”:) PUI nur einfach ionisiert, SW-Ionen wegen Durchgang durch heiße Korona (Ionisierung durch heiße Elektronen) meistens sehr stark oder vollständig ionisiert
- PUIs haben andere Geschwindigkeitsverteilung (nicht-maxwellsch)
- Dichte Pattern?

### 2.3.5 w (-Verteilung)

- Bei langsameren SW ist im EpQ-ToF-Diagramm bei gleichem EpQ w größer.

## 3 ULYSSES

### 3.1 Missionsziele und Allgemeines

- Prölss, 2004, p. 6.1.7: Unterscheidung SW in höheren Breiten: erstmals durch Radioszintillationsmessungen
- Eigentlich ist Ekliptik interessant für uns, weil Erde hier liegt. Um aber die Prozesse zu verstehen... (Magnetfeldstruktur außerhalb der Ekliptik: Prölss, 2004, ch. 6.2.3)
- Missionsziele und Aufbau: Lars Diss
- Paper Glöckler1998. Bild mit 3 Detektoren
- Sektorisierung durch Spin: 1 Spin dauert 12 Minuten (5 rot per min)
- Unterschied zu ACE: AA oszilliert stärker
- spin-stabilisiert (im Gegensatz zu PLASTIC, das 2-Achsen-stabilisiert ist)
- Orbit period: 6.2 jahre
- Weg raus zu Jupiter: da waren schon Pioneer und Voyager – Über Pole der Sonne: unique!
- gute Teilchenauflösung aber schlechte Statistik (weil so weit weg) → (schwere PUIs nicht so gut, He+ geht aber gut) & lange Zeit gemessen
- Probleme:
  - Antenne muss immer zur Erde zeigen
  - teilweise großer AA: Blick durch VDF ändert sich! → dadurch ist Bulge-SW-Geschw verschoben, Zeichnung S. 49,5ß in Kladde
  - Kollimator im Phasenraum gebogen (nicht nur dort...?)
  - Sun Pulser/Parser: S. 49 in Kladde, & ändert sich mit AA

### 3.2 Datenübertragung

- Datenübertragungsrate ULYSSES: 1024 bits/s während 'tracking', 512 bits/s während 'store' periods
- Problem AD-Wandler: Kanal 256 Bit-Pattern

### 3.3 Aspect Angle

- Große Variation sorgt dafür, dass ein größerer Bereich im Geschwindigkeitsraum abgescannt werden kann!

### 3.4 Koordinatensysteme

- ACE benutzt GSE:
  - G: from SC/Earth to Sun
  - S: against SC orbit motion in ecliptic
  - E: completes right handed triad (ecliptic north pole)
- RTN system:
  - R: from Sun to SC
  - T:  $w \times R$  ( $w$  = Sun's spin axis) (Richtung Erdrotation)
  - N: completes right-handed triad (ecliptic north when SC in ecliptic)
- Koordinaten für den Kollimator sind reversed RTN:
  - R: from SC to Sun
  - T:  $w \times R$  ( $w$  = Sun's spin axis) (entgegen Erdrotation)
  - N: completes right-handed triad (ecliptic north when SC in ecliptic)

Grund: Konsistenz mit GSE: FoV zeigt vom SC Richtung Sonne und ist  $x/R$ -POSITIV.

Beim Übergang zum VSpace: Einmal umdrehen, sodass von der Sonne zum SC strömende Teilchen positive Geschwindigkeit haben. Damit dreht sich auch T wieder um und ich bin wieder im *echten* RTN-System.

Aspect-Phi wird positiv für nun negative T-Achse (Guckrichtung SC-Sonne: links)

### 3.5 Sunpulse-Sensor

- Gliem et al., 1988: "The S/C signal *spin rate* is used to divide each spin into 8 sectors. (...) A measuring period always starts with sector 0." Sector adjustment command ML3.2 definiert die Orientierung (den Winkel) zwischen Sun Pulse und der Sektorierung. Normalfall: Sun direction fällt zusammen mit dem Zentrum von Sektor 4.
- Sector adjustment command consists of two parts:
  - Sun Pulse Sector SPS:  
Determines within which sector the sun pulse shall occur
  - Fine Adjustment FA:  
Determines the offset of the sun from the center line of the sun pulse sector

Sun sensors are devices carried by pretty much every single deep-space spacecraft. Spacecraft use them to determine their orientation in space. For spacecraft like Ulysses that spin in order to stabilize their orientation, sun sensors also enable the spacecraft to measure its spin rate. Ulysses has two sun sensors, one a "cross-beam sun sensor" (abbreviated XBS) and the other a "meridian slit sun sensor" (abbreviated MS). Actually there are two meridian slit sensors, MS1 and MS2, each pointed 180 degrees to each other. For redundancy, there are two identical cross-beam sun sensors, named XBS1 and XBS2. The meridian slit sun sensors are internally redundant – MS1 and MS2 each has a main and a standby unit. (For many more gory details, visit this website.) Quelle

"The Spin Reference Pulse (SRP) is defined as a pulse issued when the sun crosses the positive XZ reference plane of the spacecraft." (HISCALE 4.7)

## 3.6 SWICS

### 3.6.1 Allg. & Loose Ends

- Accumulation time for data is one period (= one EpQ-step) except for the matrix elements: 64 periods = 1 cycle
- constant deflection voltage during 1 period. After 64 steps (between 63 and 0): Sync spin without measurements
- Pro sektor 1.5 Sekunden  $\Rightarrow$  12 Sekunden für eine Period
- hohe dynamical Range muss gecouvert werden, da Abstand so sehr schwankt (und damit Fluss)
- Problem Auflösung Prioritätsschema: Wenn ich keinen Count habe, kann ich ihn auch nicht gewichten
- BRW 20 bedeutet: 20 Teilchen gemessen, nur eins übermittelt -> nach kleinem BWR filtern: Protonen loswerden weil hohe Flüsse raus; Zusammenfassung aus Drews: S. 54
- Sektor 5 besonders prominent: vermutlich wegen Sun Pulser s. S. 49 Kladde
- *Direct Pulse-Height Analysis data and priority selection*: 24-bit PHA words (8 for energy, 10 for TOF, 3 for one of eight sectors, 2 bits for one of 3 detectors, 1 for priority). DPU sorgt dafür, dass alle Prioritäten im richtigen Verhältnis telemetriert werden

### 3.6.2 Trebles / Doubles

- Zwei Möglichkeiten, Double zu werden: energiemäßig unter Threshold fallen oder keine ordentliche Energiemessung auslösen.

- He+ ist eher in den Doubles wegen geringer Energien (fallen unter Threshold)
- He ist in den Trebles deutlich häufiger als H+, weil Letzteres schneller unter Threshold fällt
- Doubles: *mass-zero*, weil nur mass-per-charge-Messung
- Doubles werden häufiger bei kleinen Geschwindigkeiten, weil sie dann nicht mehr so gerade durch die Folie durchgehen und eher gestreut werden. Dann treffen sie evtl. nicht die sensitive SSD-Fläche, sondern auf den Rand, der die SSD umgibt. Da werden zwar Sekundärelektronen zur ToF-Messung ausgelöst, aber es erfolgt keine Energiemessung (geometrischer Effekt).
- Die Streuung in der Folie ist abhängig von der Spezies
- Evtl. sind Doubles etwas gegenüber den Doubles verschoben, weil der Flugzeitstop vielleicht durch Stop im Housing ausgelöst wird und die ToF dann systematisch etwas zu hoch ist.

### 3.6.3 Priority Range

- Range 0,1 und 2
- Wird gespeichert in 24-bit PHA-Words
- RNG0 (Category-1):  $m < 8.7$  Protonen und Alphas, auch Doubles
- RNG1 (Category-2):  $m > 8.7$ , keine Doubles
- RNG2 (Category-3): low-charge-state heavy elements ( $m/q > 3.3$ ), likely to be  $O^+$ ,  $Ne^+$  etc., which do not trigger E-measurement. Nur Doubles!
- Häufigere (RNG0) werden relativ seltener übermittelt
- durch die Bevorzugung der schwereren Ionen wird aber die Komposition verfälscht! Lösung: *Base-Rate-Weighting-Faktor b*:  

$$b = \frac{N_{PHA}}{T_{PHA}} = \frac{\text{No. of detected particles}}{\text{No. of transmitted particles}}$$
- BRW soll sicherstellen, dass für jeden EpQ-Step und für jede Box in ET-Matrix repräsentativ was runtergeschickt wird. Bsp: Es werden 100 Protonen gemessen und 5 Eisenteilchen, es kann aber nur ein PHA-Wort übermittelt werden. Dann würde ein statistischer Pick die Eisenteilchen unterrepräsentieren.
- EpQ-vs-T-Plot mit allen Ranges maskiert gespeichert.
- He+ liegt größtenteils in der He-Box und wird demnach niedrig priorisiert.

- Allerdings ist  $He+$  so selten, dann brw meistens 1 ist.

#### **Sector Weights, Sektorgewichte:**

- Bei ACE SWICS: Datenprodukt *swt*
- Ich kann nur 1 PHA-Wort pro Sektor übermitteln, messe aber 100 Teilchen. Dann wird eins gepickt und ein Gewicht mitgegeben.
- Sobald dieses Gewicht größer als 1 ist, weiß man, dass es mindestens ein weiteres Teilchen gegeben hat, was nicht übermittelt wurde. Kleiner als 1 geht eigentlich nicht.
- Datenprodukt *twt*: Über Spin gemittelttes Sektorgewicht? (Da sind schon Informationen verloren gegangen, trotzdem wird das meistens verwendet. Man sollte eher *swt* verwenden!)

#### **3.6.4 Detektor-IDs**

- Vermutung: 1 Det-ID ist reserviert für Doubles (keine gültige SSD-Messung), 3 andere IDs für die richtigen Detektoren
- Vermutung falsch: Det3 ist Müll. Det0, Det1, Det2 sind richtig, die Doubles sind alle mit in Det0.

#### **3.6.5 Fehlkoinzidenzen & Fehler:**

- Pile-up: senkrechter Müll. Zufällig verteilte SSD-Messungen (wenn SSD schneller getroffen wird als Verarbeitungszeit. Jeweilige ToF wird durch Proton bestimmt?)
- Zufallskoinzidenzen (bei Ulysses wenig wegen geringer Flüsse)
- Ulysses SWICS 200ns-Kanal: Überlaufkanal in Flugzeitmessung (ADC-Fehler)
- Delta-E-Fehler entsteht durch SSD-Deposit: schlimmer, je größer die Masse  $\rightarrow$  verschmiert entlang von Bahnen (Hyperbeln)
- Energieverlust Folie: asymmetrisch entlang Hyperbel
- ESSD-Richtung: asymmetrisch wg. Landau/Pulse-Height Defect ?
- Coincidences in EPQ vs ToF: leicht exponentiell - waagerecht. Liegen auf Höhe von He-Peak, weil He am häufigsten ist und nur das Start-/Stop-Signal zählt. Segmentierung in EpQ-Richtung wegen SW-Geschwindigkeiten (S.56 Kladde)
- links Müll: Threshold Triggerschwelle (Errorrange) – die Dichte spiegelt eigentlich die Häufigkeit der Spezies wider
- Teilchen kann immer weiter rechts liegen wegen des Energieverlusts in der Folie – aber nie weiter links (Protonen sind absolute Grenze)

### 3.6.6 Kollimator / Messung

- Die voltage ist nicht die EpQ!
- Massenflugspektrometer Messprinzip: S.11 Kladde
- EpQ, E, Tof werden gemessen  $\rightarrow$  m, mpq, v werden bestimmt
- Zeichnungen s. Kladde s. 41 und 42
- man muss He+ erstmal rausfiltern  $\rightarrow$  eig. braucht man mpq-Algorithmus. Ist aber in Doubles gut sichtbar, deshalb gehts auch so. (Stelle Methodik vor, um He+ rauszustellen, S. 39)
- Kollimatornormale muss antiparallel zu v-Vektor eines Teilchens ausgerichtet sein, damit es detektiert werden kann. (Teilchen variabler Geschwindigkeit entlang der Normalen rausschicken, in v-Raum eintragen, Punktspiegelung an Ursprung ergibt Akzeptanz)
- Abdeckung flach ist 69 Grad (rausfinden, woher Lars das hat).  $\Rightarrow \pm 69$  Grad FoV. PLASTIC: Nur  $\pm 22.5$  Grad
- im v-Raum: Kollimator ist Ausschnitt einer Kugelschale
- Channel (Gloeckler et al., 1992):
  - Proton/Helium Channel (the smaller one): energy range  $0.16 - 14 \frac{\text{keV}}{\text{charge}}$ , resolution 4%. For SW protons. He and heavier ions. Werden von einem einfachen SSd gezählt, es findet aber keine Zeitmessung statt? ... Aus EpQ-Spektum lassen sich dann Temperatur, Bulk Speed, Density bestimmen...?
  - Main Channel (larger one): energy range  $0.65 - 60 \frac{\text{keV}}{\text{charge}}$ , resolution 5%. For SW He, heavier ions and suprathermal ions. Full m vs. mpq analysis
- 64 EpQ-Steps alle 12.8 Minuten: es wird von 100kV auf 0.5kV logarithmisch runtergestept. Ein Step pro SC-spin (= 12 Sekunden). Die einzelnen Steps sind in uswiutils in der getvelocity-Funktion. Ich verstehe nicht ganz, woher die Zahlen für die Folge kommen (138 ist max. Anzahl der Steps)
- Unsicherheit  $\Delta EpQ = 3\%$  (nur für ACE!), daraus folgt Unsicherheit  $\Delta v = 1.5\%$  in der Messung. Fehlerrechnung: Kladde S. 84.

EpQ-Step 0 sollte man nicht so ernst nehmen, weil da die Spannung von ganz niedrig wieder hochgerampft wird und manchmal noch nicht alles umgestellt ist...

- Efficiencies: Wahrscheinlichkeit, wirklich ein Teilchen zu messen. Das ist abhängig von der Teilchenart und vom Step. Gründe: Auslösung der Sekundärelektronen aus Folie ist nicht garantiert; Teilchen können leicht divergent auf Folie auftreffen und ggf. zusätzlich gestreut werden, sodass sie nicht auf SDD treffen; aus SSD werden evtl. keine Sekundärteilchen ausgelöst; Threshold verschieden?. Effizienzen für viele Teilchenarten auf Asterix (ETPH/project/ACE/efficiencies). Drei Spalten: EpQ mit verwurstelt – echte Effizienzen – Unsicherheiten. Alles schon für Triples!
- Messmode: s. Gloeckler et al. (1992): Mode 1,2,3,4.  
Text: *Modes of operation / voltage cycle mode*: Es gibt 6 modes für das deflection analyzer system. Unterschiedlicher Abstand der Voltage-Schritte abhängig vom Modus (7.44% oder 3.65%). Standard (und für die Daten verwendeter (?)) ist Mode-1 mit einem relativen Abstand von 7.44% zwischen den Steps.
- Zu hohen ToF-channels: Die Geschwindigkeit wird jetzt vor allem von der Nachbeschleunigung bestimmt.  
ESA vs. ToF: Bei hohen ESA-Steps nähern sich die Kurven Senkrechten an  
ECH vs. ToF: Bei kleinen Energien, großen ToFs nähern sich die Kurven Waagerechten an.

### 3.6.7 He+-Identifikation

- Kladde S. 39: manuell ausschneiden in ET-Matrix mit `set_mask2D()`
- wHe+ maskieren auf 1.1 – 10
- Fe14+ und Si7+ haben auch mpq 4 und landen in EpQ vs. ToF auf derselben Parabel. Die sind aber nicht so häufig und sind auch in RNG1.

## 3.7 ET-Matrix

- *norm = ymax* bedeutet: So normiert, dass es in jeder horizontalen *Reihe* immer ein Maximum (= rotes Pixel) gibt

### 3.7.1 ESA vs. Tof

- wHe+ filtern: Je höher untere Grenze, desto weiter rutscht Cut-Off runter. Macht Sinn: Oben sind die kleinen EpQs. Je größer v sein muss, desto kleiner muss mpq werden und das gibts irgendwann nicht mehr so klein.
- Suprathermale sind unten
- wHe+ der anderen Ionen ist kleiner als 1. ??



- Jedes Ion auf einer Kurve. Oberer Teil: langsamer SW, unterer Teil: schneller SW
- Zu großen ESA-Steps wird die Kurve eines Ions steiler, weil da die Flugzeit vor allem durch die Nachbeschleunigung bestimmt wird.
- SW langsamer: Verteilung rutscht hoch, teilweise unter Threshold

### 3.7.2 ESSD vs. Tof

- wHe+ filtern: laut Lars sollen kleine wHe+ unten rechts liegen. Warum? Weil da kleine  $E_{SSD}$  liegen und  $v = \sqrt{\frac{2E}{m}}$ . He+ kann noch das höchste wHe+ haben, denn  $w_{He+} = \frac{v_{He+}}{v_{sw}}$  und  $v_{He+} = \sqrt{\frac{2E}{m_{He+}}}$ , alle anderen haben eigentlich ... TODO, drüber nachdenken!
- Durch EpQ-Steps durchklicken (Daten von komplett 1996, nur RNG0):
  - EpQ 0: Tch 130: Protonen (wandern schnell unter Threshold); Tch 260: He+
  - EpQ 1 bis ca. 6 rechts von He+ Blob sichtbar, den Lars nicht versteht
  - EpQ 17: He+ verschwindet bei Tch 380 unter Threshold, links davon bei Tch 320 He-3(1+), bei Tch 270 He2+
  - Ab EpQ 33 kommt noch He-2(2+) rechts davon rein mit der kleinsten MpQ nach den Protonen.
- Zu hohen Flugzeiten wird die Kurve flacher, weil da die Flugzeit vor allem durch die Nachbeschleunigung bestimmt wird.

### 3.8 PUI-Messung

- schlechte Zählstatistik
- → schwere PUI (selten) nicht so gut zu untersuchen
- → He+ aber gut zu untersuchen, denn:
  - He+ hat ein hohes FIP, kommt deshalb weit in die Heliosphäre rein und ist damit das häufigste PUI @ 1AU
  - He+ ist nicht vollständig ionisiert: Kommt eher nicht als WS vor → Verteilungen separat und gut zu erkennen
- bei relativ konstanter SW-geschw: EpQ-Steps entsprechen w

### 3.9 Richtungsauflösung

- nur eine Achse fixiert → rotiert frei in einer Ebene
- Problem Anstellwinkel: zwei Geschwindigkeiten gegeneinander verschoben

## 4 Der Plan

- ohne Richtungsauflösung untersuchen:  
Ursprung der schnellen PUI:  
gibts den Flügel auch außerhalb der Ekliptik / über den Polen (bei ruhigem SW) ?  
→ dann gezeigt, dass kIR Ursache für schnelle PUI sind
- Zeigen, dass vermehrt äußere Detektoren angesprochen werden, je mehr man sich  $w = 1$  nähert
- Zeigen, dass man Detektor im VDF so darstellen kann: S. 42 Kladde
- Schrottsignatur Kladde S. 37: EpQ kleiner 8, ToF 320 bis 360 – was ist das? (maskieren und gucken, welche Zeitstempel das sind)
- Rausfinden, welche Detektor-ID zu welchem Detektor gehört: Kladde S. 45 & S. 46. S. 37: Plausibilitätscheck – Richtungsunterschiede VDF zw. SW und PUI (warum?)
- Sonnenwind (H+) angucken: isotroper als PUI-He+? AA Veränderung?
- Die w-Verteilungen erstellen mit Ulysses, wie Lars das mit ACE schon gemacht hat.
- Dabei später nach B-Feld-Richtungen und Sonnenwindgeschw. filtern und gucken, ob sich die Verteilung verändert.

### 4.1 Wozu Kollimatormodell?

Man will wissen, für welchen Geschwindigkeitsvektor ein bestimmtes PHA-Wort steht. Das ändert sich laufend. Außerdem Kollimator gebogen.  
Übergang vom Ortsraum zur v-Akzeptanz

### 4.2 Wozu 3D?

- Christian (2015,2D...): Bis 2002 gabs nur auf 1D reduzierte Betrachtungen. Problem: PA-scattering, spatial diffusion, adiabatic cooling nur schwer nachzuweisen; Grund: Verteilung wird von allen eventuellen Prozessen gleichzeitig geformt
- Man muss übergehen von SC-frame auf SW-frame. Dafür muss man 3D-Verteilung kennen, um korrekt zu subtrahieren
- Lars Diss. Kapitel 5
- Mit 3D hat man die volle Information. Jetzt reduziert man auf 1D: Es gibt mehrere Möglichkeiten, die reduziert zu diesem 1D geführt haben. Nicht-Eindeutigkeit

- w-Spec-Schnitte: Echte Schnitte durch v-Verteilung, nicht aufaddierte Projektion
- Drews et al., 2015: Wäre die Verteilung voll isotrop, könnte man auch allein mit der Info über den Geschwindigkeitsbetrag von einem Frame auf den andere übergehen! Nur anisotrope Verteilungen unterscheiden sich. (Prüfen...)

### 4.3 Wozu SW-frame?

- Umrechnung SW-frame  $\leftrightarrow$  SC-frame in Drews2015 und Drews2016
- “The injection of interstellar pickup ions and the initial He+ ring beam signature is well described in the frame of the former interstellar neutral atoms, i.e. in a spacecraft frame of reference (Figs. 2 and 4). However, their evolution is best described in a solar wind frame of reference as e.g. wave-particle interactions also occur in the frame of the solar wind (Saul et al. 2007).” (Aus Drews2015)
- “First of all, PLASTIC’s angular resolution in azimuth,  $\alpha$ , and polar angle,  $\theta$ , allows us to determine the three components of the velocity vector  $u_{He}$ . With  $u_{He}$  we can determine a reduced form of the 2D He+-VDF, and make the correct transition from a spacecraft to a solar-wind frame of reference, i.e. we are able to derive  $w_{sw}$  from the combination of  $w$ ,  $\alpha$ , and  $\theta$  (see Fig. 4). Figure 8 shows a comparison between 1D He+ spectra in the two frames of reference for an observation period in which  $95^\circ < \phi B < 105^\circ$ . While the assumption of a fully isotropic He+ VDF would allow for the transition from the spacecraft to a solar-wind frame of reference even without knowing the three components of the He+ velocity vector,  $u_{He}$ , a non-isotropic He+ VDF, as evidenced by the ring beam observation shown in Fig. 6, will result in a significant difference in shape and intensity of the observed He+ spectra between the two frames of reference (see Fig. 8). Because most instruments, in particular SWICS, are limited to 1D velocity spectra in a spacecraft frame of reference, deduced quantities from the observed w-spectra, like an adiabatic cooling index  $\gamma$  (e.g. Chen et al. 2013) or a pitch-angle scattering rate  $\tau$  (e.g. Saul et al. 2007), are systematically altered by the anisotropic nature of the He+ VDF and therefore questionable.” (Aus Drews et al., 2015)
- Drews et al., 2015 Zusammenfassung: S.12 oben rechts

### 4.4 Was wurde schon untersucht?

- Drews et al., 2013: w-Betrag in der gesamten Apertur histogrammiert übers B-Feld (in-ecliptic) ‘w-spectra’
- Drews et al., 2013: Einfallswinkel (nur für große  $w \gtrsim 1.9$ ) histogrammiert übers B-Feld (in-ecliptic) ‘Winkel-Verteilungen’

- Drews et al., 2015: w-Histogramme (in Abh. vom in-ecliptic Einfallswinkel) für verschiedene B-Felder (verschiedene Darstellungen)

## 4.5 Weitere Motivationen

- Drews 2015: Numerische Untersuchungen haben in den letzten 30 Jahren große Fortschritte gemacht und die tatsächlichen Beobachtungen weit überholt (weil: zu teuer, schwierig...). Jetzt ist also das Experiment wieder an der Reihe.
- PUIs sind nicht koronalen Ursprungs! Dadurch kann man prüfen, welche Effekte koronalen Ursprungs sind und welche nicht
- Allgemein VDF 3D (noch nicht häufig gemacht? Auch für schwere SW-Ionen)
- PUI carry with them information of processes which act between the location of the PU process and the observation location
- PA scattering rate: information about wave-particle-interaction
- Wenn nicht die Drehung des AA und die Eigengeschwindigkeit wären, könnte man das Ganze analytisch lösen und bräuchte das Kolliamtormodell nicht (numerische Lösung)

## 5 Loose Ends

- Phase Space Density / Phasenraumdichte: *number of states per element of volume in phase space*, also Anzahl der Messungen in zu einem bestimmten Impuls (einer bestimmten Geschwindigkeit). Der Ort ist fest, wegen des Detektors?  
(Steht auf der y-Achse in Glöcklers VDFs)
- Alles drin in Theorie? Antrag S. 3 f.

## 6 Fragen

- warum ist man nicht schon vorher über die Pole geflogen? Was ist daran die Schwierigkeit?
- SWOOPS-Paper: “Within typical low and high speed solar wind flows, the  $\text{He}^{2+}$  ions, which usually have local temperatures four to six times higher than those of  $\text{H}^{+}$  ions, can be resolved in E/q spectra into separate hydrogen and helium components, except...”
- Nils: EpQ übersetzt sich in thermische(?) Geschwindigkeit. Wenn alle Counts in einen Bin fallen hat man Probleme, low temperature aufzulösen. Warum hat SWOOPS ein Problem, heavy Ions mit hoher Temperatur zu messen?
- aus dem SWOOPS-Paper: “The solution to making adequate measurements is based on the fact that roughly  $5^\circ$  spatial resolution is required in both polar angle and azimuth to make adequate solar wind ion measurements”
- warum sind SW-Ionen so viel mehr “Beam” als breit verteilte SW-Elektronen (s. SWOOPS-Paper)?
- wie war das nochmal mit dem Plasma-Beta/ Einfrieren?
- CIRs, SIRs nachlesen
- Wie viele Elektronen gibts im Sonnenwind?
- nachlesen: Neutralteilchendichte Berechnung: Wimmer Masterskript
- kann man nicht mal was schreiben, mit dem man direkt sieht, wie eine 3D-Verteilung auf 1D runtergebrochen aussieht?
- PA-Scattering verstehen, Isotropisierung? (Resonante Welle-Teilchen-Wechselwirkungen und Alfvén-Waves)
- 

## 7 Papers to read

### 7.1 Early PUI

- Semar 1970 (prediction interstellar PUI)
- Fahr 1971 (prediction interstellar PUI)
- Inner Source: Wnezel 1986, Hilchenbach 1992, Geiss 1995

## **7.2 Development after PU-process**

- Chalov u. Fahr 1998 (Modellierung, Spatial Diffusion), Vasyliunas u. Siscoe 1976
- Chalov u. Fahr 1999, Möbius 2004, Chalov 2014, Saul 2007
- Adiabatic Cooling: Vasiliunas u. Siscoe 1976, Moebius 1988, Chen 2013
- Acceleration: Isenberg 1987, chalov u. Fahr 1996, Fahr u Fichtner 2011, Fisk u. gloeckler 2012

## **7.3 Anisotropie und Erklärung**

- Möbius 1998, Gloeckler 1995
- Erklärungen 90 Grad Hemisphäre: Isenberg 1997, Fisk 1997
- 2D: Oka 2002 (GEOTAIL), Drews 2013 (PLASTIC)

## **7.4 Am Rande**

- Ionisation Rates: Rucinski u. Fahr 1989, cummungs 2002
- Neutral Seed Population: Kallenbach 2000, Drews 2012, Geiss 1995, Allegrini 2005

## **7.5 Next Up**

- von Steiger 1995: bulk velocity heavy ion mit Ulysses/SWICS
- von Steiger und Zurbuchen 2006b, auch so
- Rucinski 1996

## References

- Aschwanden, Markus (2005). *Physics of the Solar Corona*.
- Chalov, S. V. and H. J. Fahr (July 1998). “Phase space diffusion and anisotropic pick-up ion distributions in the solar wind: an injection study”. In: *Astronomy and Astrophysics* 335, pp. 746–756.
- Cranmer, Steven R. (Nov. 2012). “Self-Consistent Models of the Solar Wind”. In: *Space Science Reviews* 172.1, pp. 145–156. ISSN: 1572-9672. DOI: 10.1007/s11214-010-9674-7. URL: <https://doi.org/10.1007/s11214-010-9674-7>.
- Drews, Christian, Lars Berger, Andreas Taut, Thies Peleikis, and Robert F. Wimmer-Schweingruber (Mar. 2015). “2D He<sup>+</sup> pickup ion velocity distribution functions: STEREO PLASTIC observations”. In: *Astronomy & Astrophysics* 575, A97, A97. DOI: 10.1051/0004-6361/201425271.
- Drews, Christian, Lars Berger, Robert F. Wimmer-Schweingruber, and Antoinette B. Galvin (Apr. 2013). “Interstellar He<sup>+</sup> ring-beam distributions: Observations and implications”. In: *Geophysical Research Letters* 40.8, pp. 1468–1473. DOI: 10.1002/grl.50368.
- Geiss, J., G. Gloeckler, and R. von Steiger (Apr. 1995). “Origin of the solar wind from composition data”. In: *Space Science Reviews* 72.1, pp. 49–60. ISSN: 1572-9672. DOI: 10.1007/BF00768753. URL: <https://doi.org/10.1007/BF00768753>.
- Gliem, F., W. Rieck, and H. Dinse (1988). *SWICS DPU*.
- Gloeckler, G., J. Geiss, H. Balsiger, P. Bedini, J. C. Cain, J. Fischer, L. A. Fisk, A. B. Galvin, F. Gliem, D. C. Hamilton, J. V. Hollweg, F. M. Ipavich, R. Joos, S. Livi, R. A. Lundgren, U. Mall, J. F. McKenzie, K. W. Ogilvie, F. Ottens, W. Rieck, E. O. Tums, R. von Steiger, W. Weiss, and B. Wilken (Jan. 1992). “The Solar Wind Ion Composition Spectrometer”. In: *Astronomy & Astrophysics Supplement Series* 92.2, pp. 267–289.
- Prölss, Gerd W. (2004). *Physik des erdnahen Weltraums. Eine Einführung*. Springer Berlin Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-642-18807-7. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-18807-7>.
- Vasyliunas, V. M. and G. L. Siscoe (1976). “On the flux and the energy spectrum of interstellar ions in the solar system”. In: *Journal of Geophysical Research (1896-1977)* (7).