



# Kosmische straling in de bovenbouw

(havo/vwo)

Norbert van Veen & Arne de Laat



# Kosmische straling in de bovenbouw

(havo/vwo)

Norbert van Veen & Arne de Laat

# Programma

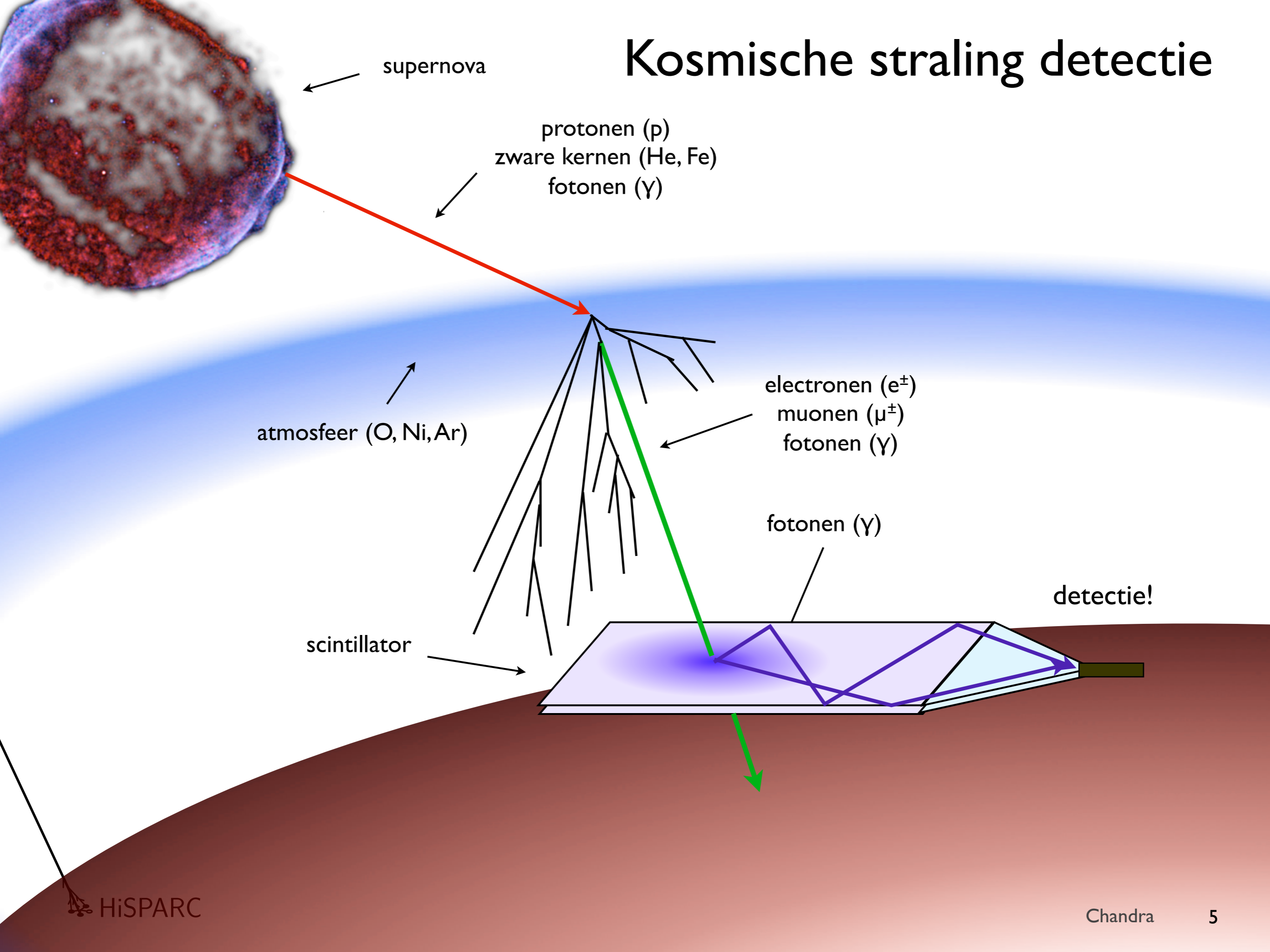
- Introductie HiSPARC
- School natuurkunde
- Data verwerking
- HiSPARC pakket
- Muonlab
- Good practice

# HiSPARC

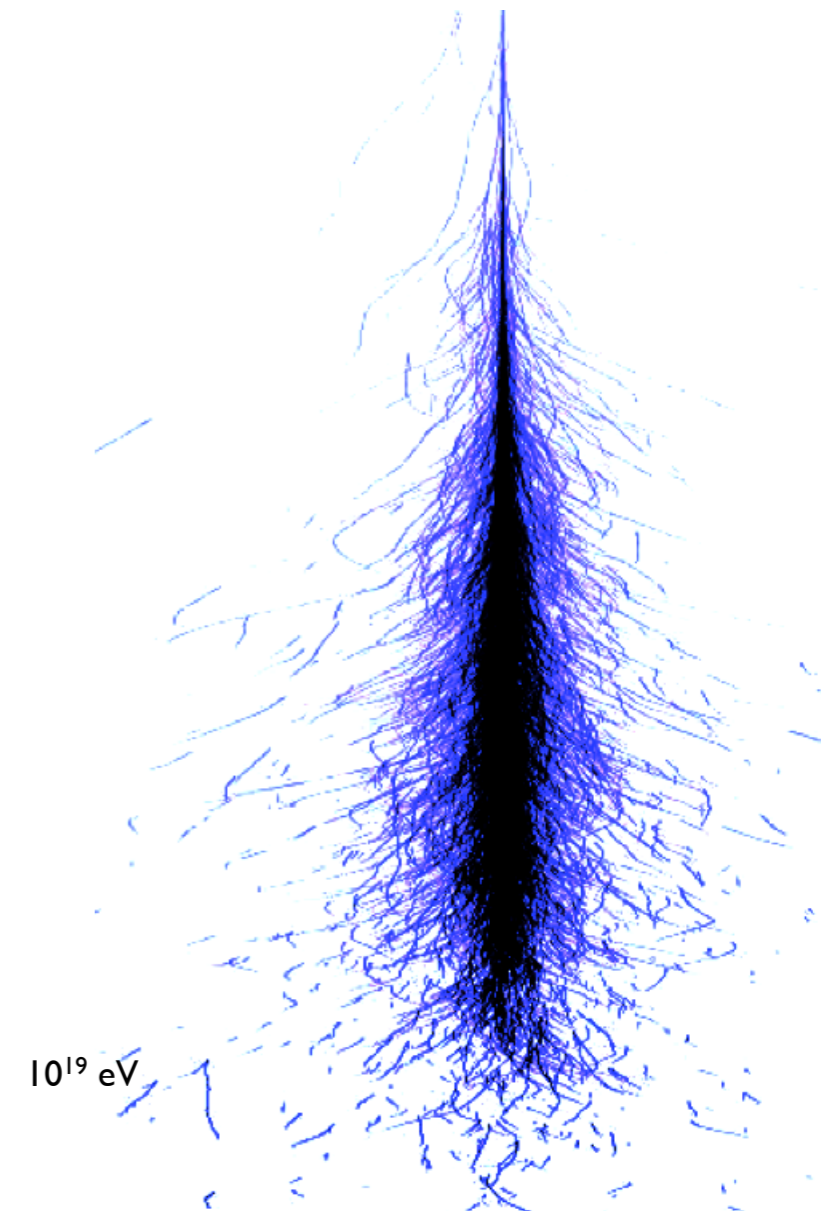
- Onderzoek en outreach project
- Meten van kosmische straling op middelbare scholen
- Coördinatie vanuit Nikhef
- Data en lesmateriaal beschikbaar voor iedereen
- Profielwerkstukken wedstrijd
- 10 jaar actief!



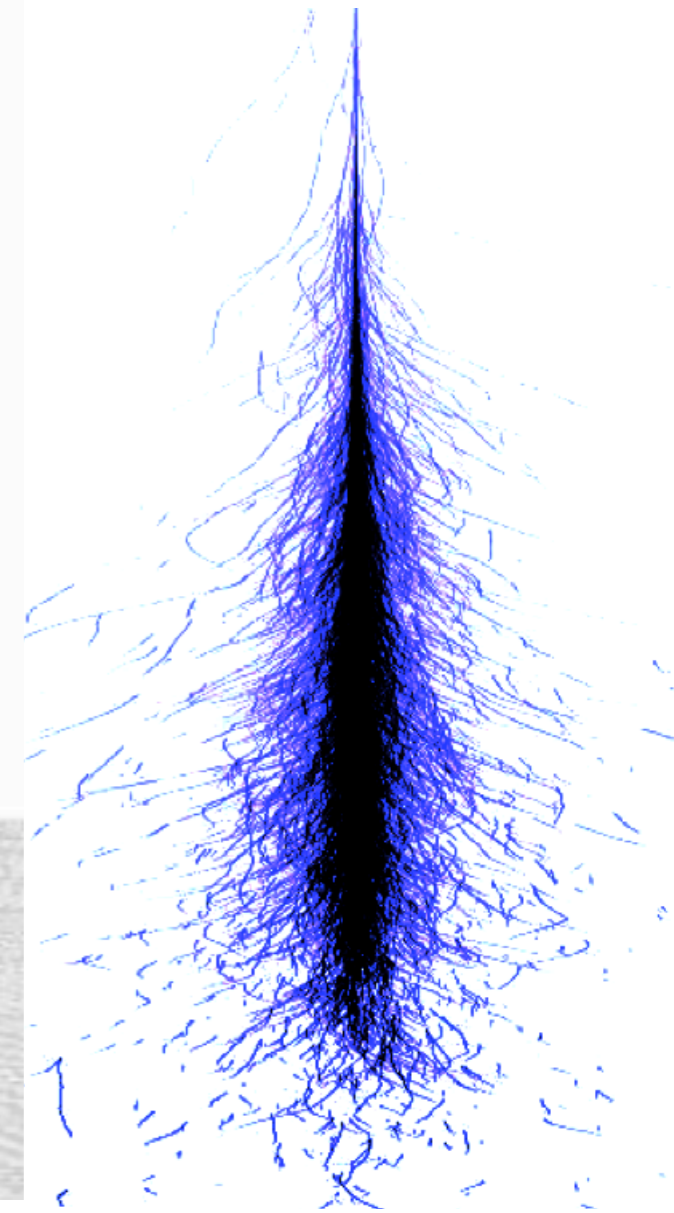
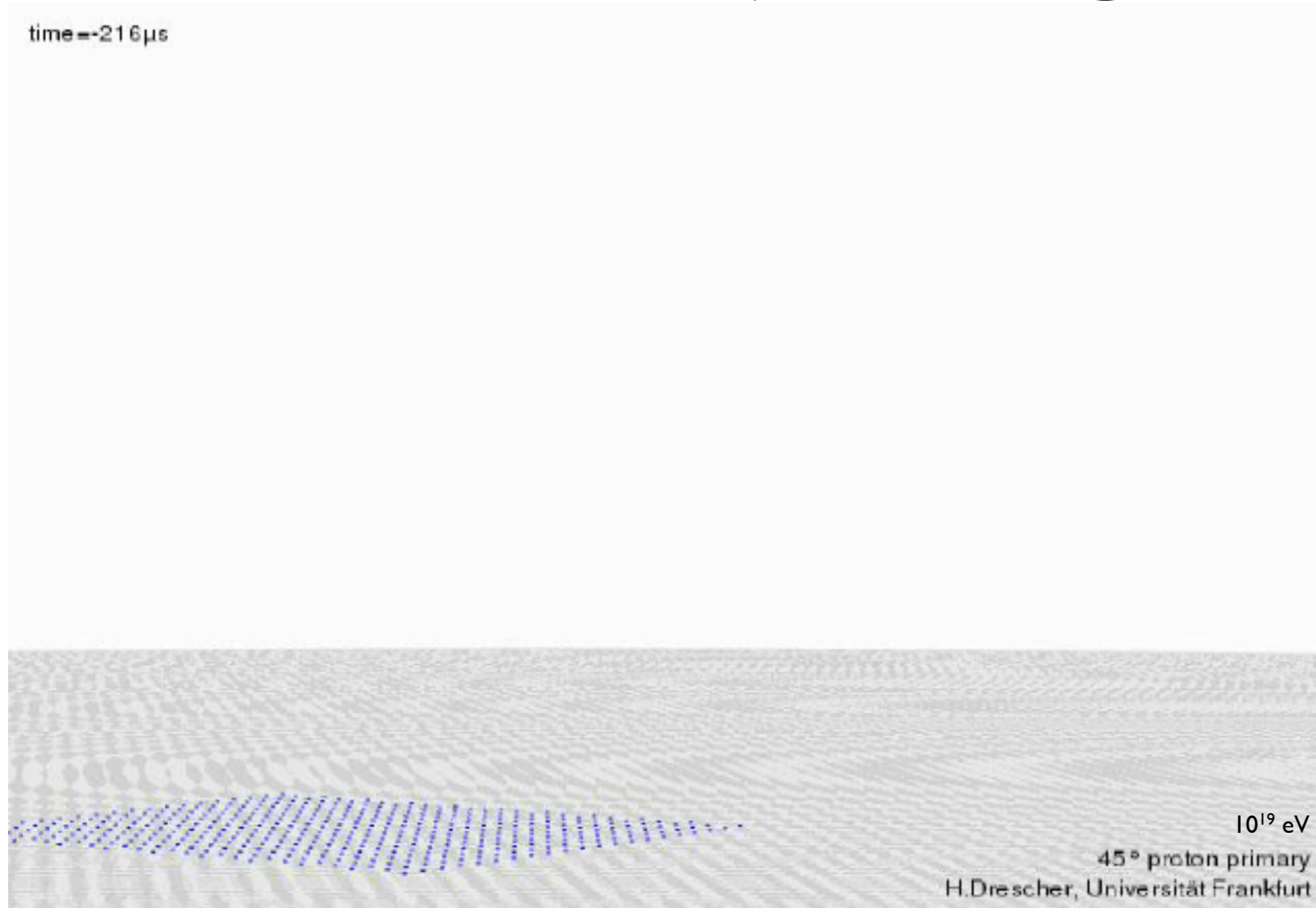
# Kosmische straling detectie



# Deeltjes regen



# Deeltjes regen



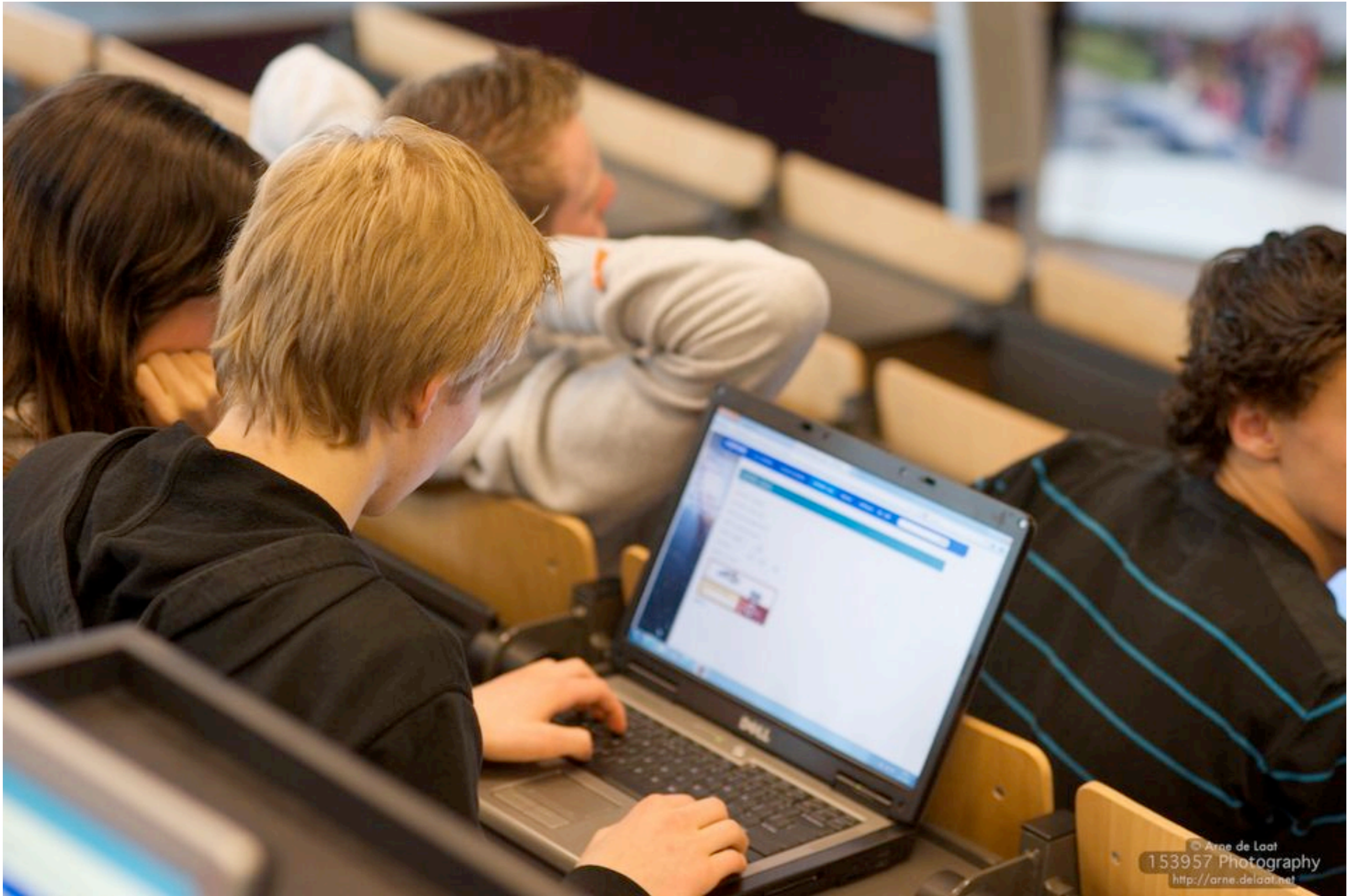












# NiNa examenprogramma

Domein		Subdomein		CE	moet in SE	mag in SE
A	Vaardigheden			X	X	
B	Golven	B1	Informatieoverdracht	X		X
		B2	Medische beeldvorming	X		X
C	Beweging en wisselwerking	C1	Kracht en beweging	X		X
		C2	Energie en wisselwerking	X		X
		C3	Gravitatie	X		X
D	Lading en veld	D1	Elektrische systemen	X		X
		D2**	Elektrische en magnetische velden	X		X
E	Straling en materie	E1	Eigenschappen van stoffen en materialen		X	
		E2	Elektromagnetische straling en materie	X		X
		E3*	Kern- en deeltjesprocessen		bk*	
F	Quantumwereld en relativiteit	F1	Quantumwereld	X		X
		F2*	Relativiteitstheorie		bk*	
G	Leven en aarde	G1*	Biofysica		bk*	
		G2*	Geofysica		bk*	
H	Natuurwetten en modellen			X		X
I	Onderzoek en ontwerp	I1	Experiment		X	
		I2	Modelstudie		X	
		I3	Ontwerp		X	

# Onderzoeksvaardigheden

## Domein A Vaardigheden

### Subdomein A5. Onderzoeken

#### **Eindterm**

De kandidaat kan in contexten vraagstellingen analyseren, gebruik makend van relevante begrippen en theorie, vertalen in een vakspecifiek onderzoek, dat onderzoek uitvoeren, en uit de onderzoeksresultaten conclusies trekken. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.

#### **Specificatie**

De kandidaat kan gebruik makend van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden:

1. een natuurwetenschappelijk probleem herkennen en specificeren;
2. een natuurwetenschappelijk probleem herleiden tot een (of meerdere) onderzoeksvra(a)g(en);
3. verbanden leggen tussen een onderzoeksvraag en natuurwetenschappelijke kennis;
4. een hypothese opstellen bij een onderzoeksvraag en verwachtingen formuleren;
5. **een werkplan maken voor het uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek ter beantwoording van een (of meerdere) onderzoeksvra(a)g(en) door middel van verificatie of falsificatie;**
6. **voor de beantwoording van een onderzoeksvraag relevante waarnemingen verrichten en (meet)gegevens verzamelen;**
7. **meetgegevens verwerken en presenteren op een wijze die helpt bij de beantwoording van een onderzoeksvraag;**
8. **op grond van verzamelde gegevens van een uitgevoerd onderzoek conclusies trekken die aansluiten bij de onderzoeksvra(a)g(en) van het onderzoek;**
9. **de uitvoering van een onderzoek en de conclusies evalueren, gebruik makend van de begrippen validiteit, nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en betrouwbaarheid;**
10. een natuurwetenschappelijk onderzoek presenteren



# Domeinen

## Domein E Straling en materie

### **Subdomein E3: Kern- en deeltjesprocessen**

25. De kandidaat kan in contexten behoudswetten en de equivalentie van massa en energie gebruiken in het beschrijven en analyseren van deeltjes- en kernprocessen.

## Domein F Quantumwereld en relativiteit

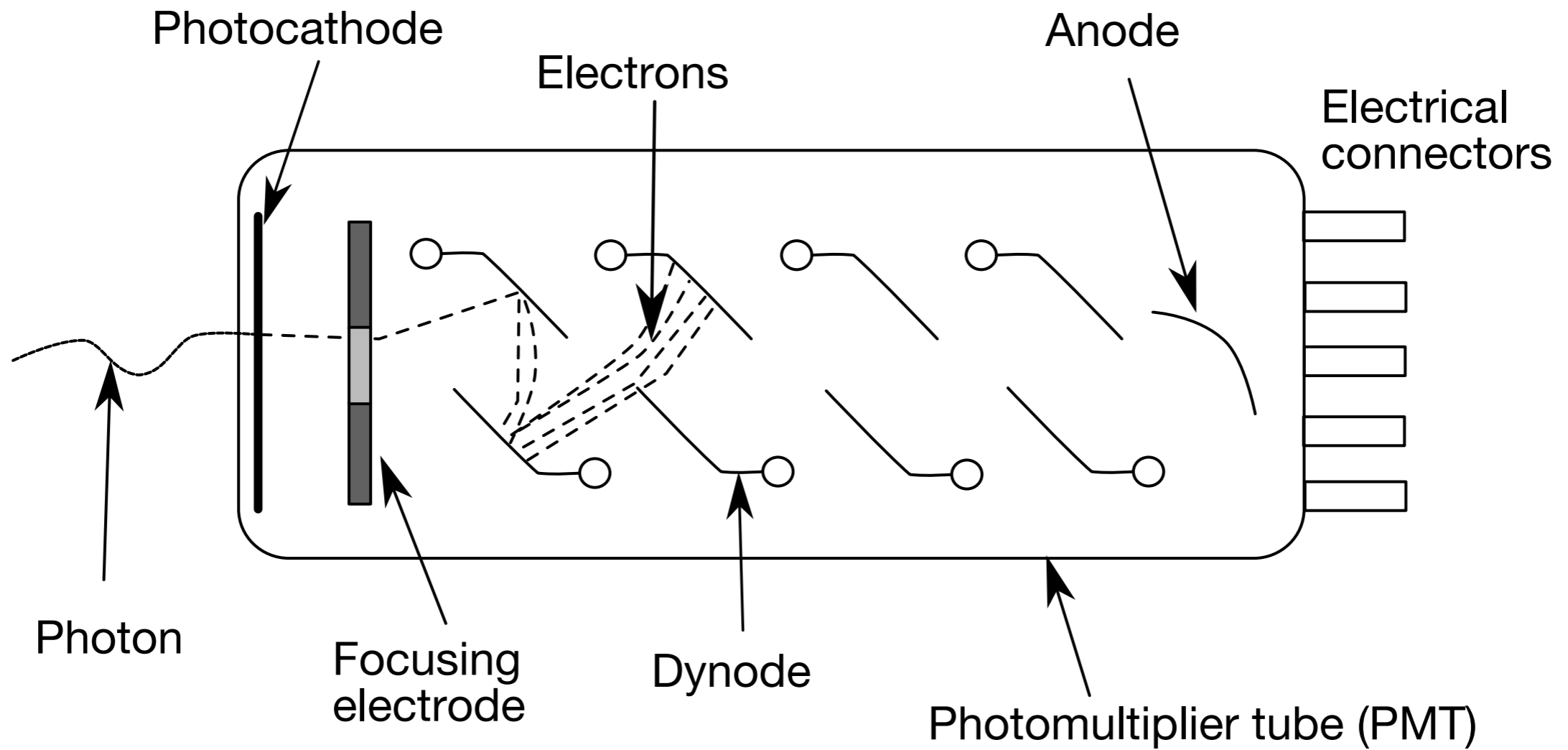
### **Subdomein F1: Quantumwereld**

26. De kandidaat kan in contexten de golf-deeltjedualiteit en de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg toepassen, en de quantisatie van energieniveaus in enkele voorbeelden verklaren aan de hand van een eenvoudig quantumfysisch model.

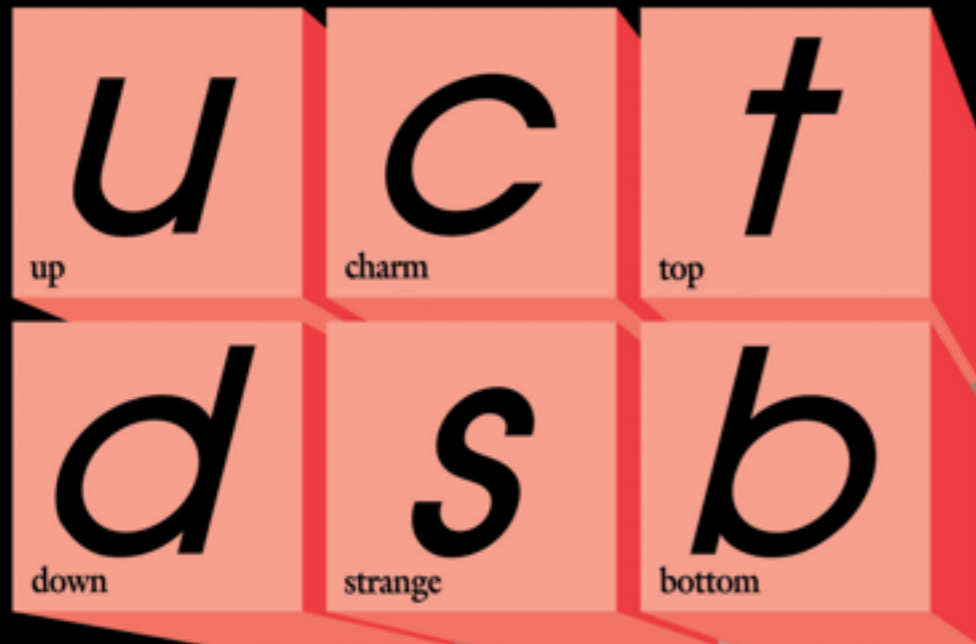
### **Subdomein F2: Relativiteitstheorie**

27. De kandidaat kan in gedachte-experimenten en toepassingen de verschijnselen tijdrek en lengtekrimp verklaren aan de hand van de begrippen lichtsnelheid, gelijktijdigheid en referentiestelsel.

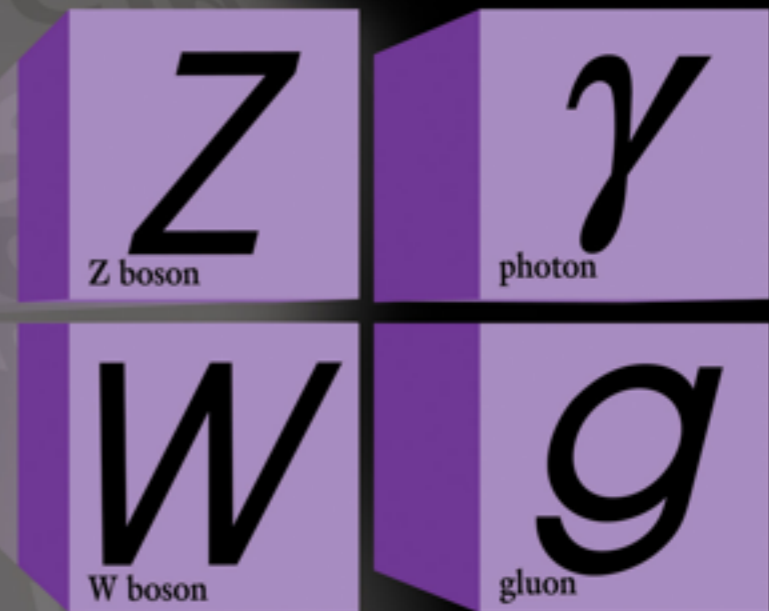
# Fotobuis



# Quarks

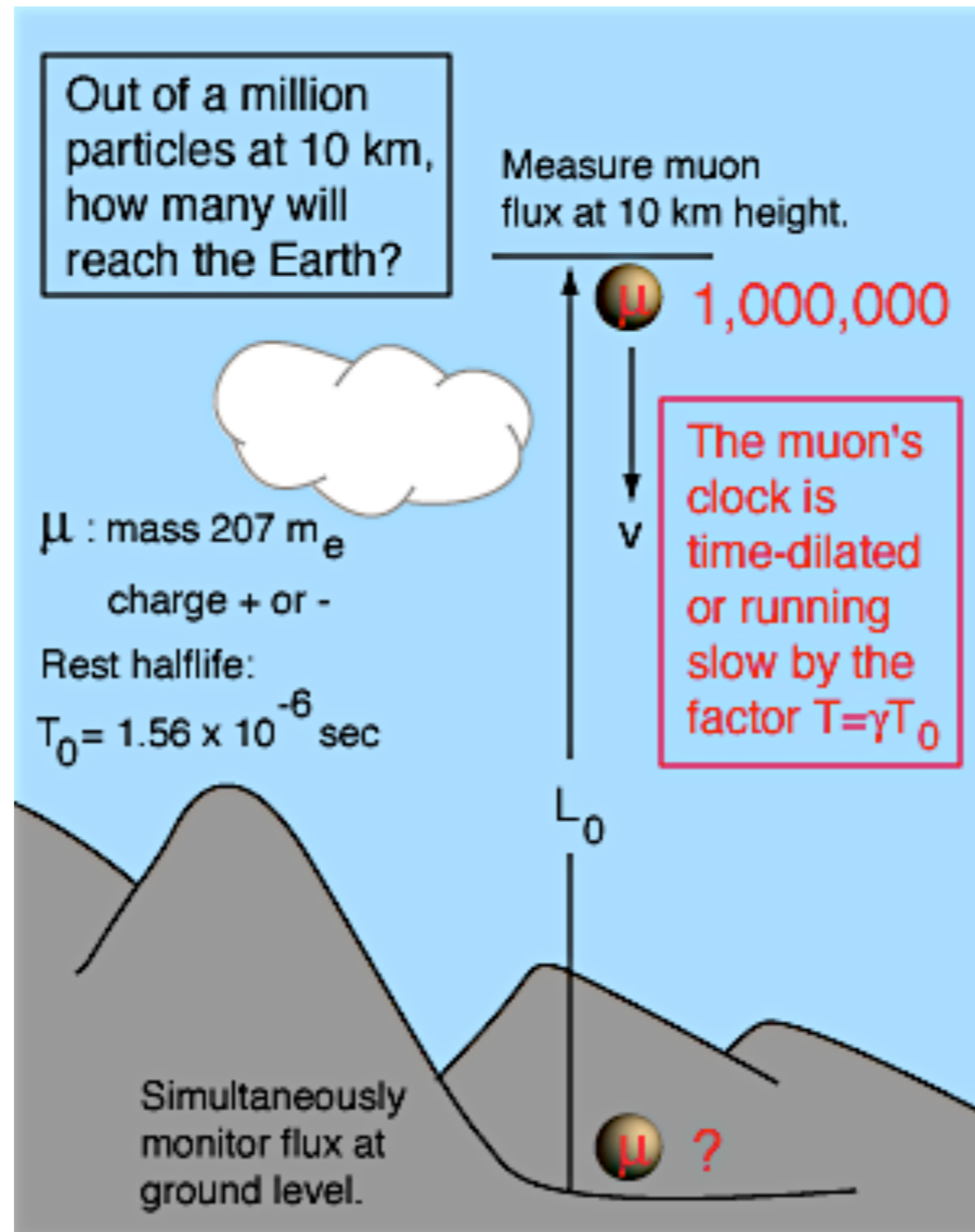


# Forces



# Leptons

# Relativiteit bij muonen



# HiSPARC data

- Kosmische straling
  - Aankomsttijden
  - Deeltjes dichtheden
  - Detector signalen
- Weer
  - Temperatuur
  - Luchtdruk
  - Luchtvochtigheid
  - Wind
  - Regen
  - Zonkracht

# Data verwerking

- Python (SAPPHiRE)
- JavaScript (jSparc)
- Excel (.csv)
- Andere programma's of talen

# jSparc

## Data retrieval

- Alles in je browser!
- Haal datasets op
- Kijk de data in
- Maak allerlei grafieken
- Interpolatie tussen datasets
- Zoek naar correlaties

### Download data

Get data from the HiSPARC server.

Station:

Start date:

End date:

Data type:  Events  Weather

### Load local file

Import a downloaded .csv file.

events-s8006-20130910.csv

### Select datasets to use

Choice 1	Choice 2	Station	Type	Start date	End date	Entries	Preview	Download	Remove
<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	8006	events	2013-09-10 00:00	1 day later	25145	<a href="#">show</a>	<a href="#">get csv</a>	<a href="#">x</a>

### Select variables and settings to plot

Plot type:

Scatter  
 Histogram  
 Time series

8006 (events)

x-Axis	y-Axis	Variable	Units
<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Event rate	[Hz]
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Timestamp	[s]
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Nanoseconds	[ns]
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Pulseheights	[ADC]
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Integral	[ADC.ns]
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Number_of_mips	[N]
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Arrival_times	[ns]

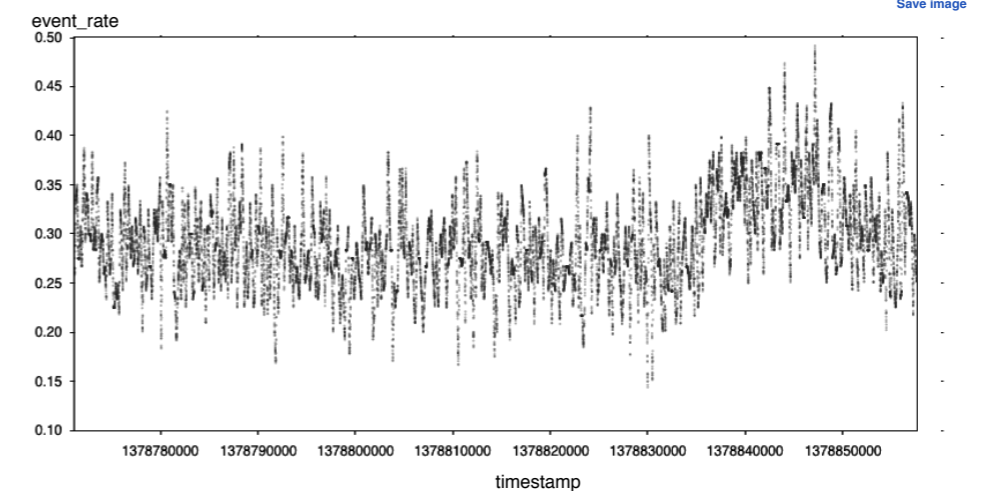
x-Axis:  Linear  Logarithmic

y-Axis:  Linear  Logarithmic

### Histogram:

Bins:

### Plot



### Raw data in the dataset

#	date	time	timestamp	nanoseconds	pulseheights	integral	number_of_mip
1	2013-09-10	00:00:04	1378771204	902119111	80 72 -1 -1	525 490 -1 -1	0.2161 0.1857
2	2013-09-10	00:00:06	1378771206	624462763	1663 2351 -1 -1	28822 40791 -1 -1	11.8633 15.4555
3	2013-09-10	00:00:07	1378771207	46551494	605 255 -1 -1	5740 3241 -1 -1	2.3626 1.228
4	2013-09-10	00:00:08	1378771208	76033815	2519 2272 -1 -1	41954 36917 -1 -1	17.2685 13.9876
5	2013-09-10	00:00:10	1378771210	321870757	96 809 -1 -1	755 8258 -1 -1	0.3108 3.1289
6	2013-09-10	00:00:14	1378771214	897019202	392 335 -1 -1	3275 2897 -1 -1	1.348 1.0977
7	2013-09-10	00:00:15	1378771215	116044310	77 118 -1 -1	345 1293 -1 -1	0.142 0.4899
8	2013-09-10	00:00:15	1378771215	155594624	75 417 -1 -1	562 3832 -1 -1	0.2313 1.4519
9	2013-09-10	00:00:31	1378771231	104519381	160 197 -1 -1	1852 2729 -1 -1	0.7623 1.034
10	2013-09-10	00:00:42	1378771242	17170960	346 73 -1 -1	2828 1041 -1 -1	1.164 0.3944
11	2013-09-10	00:00:51	1378771251	878611544	337 273 -1 -1	3177 2796 -1 -1	1.3077 1.0594
12	2013-09-10	00:00:52	1378771252	159259532	89 90 -1 -1	540 632 -1 -1	0.2223 0.2395
13	2013-09-10	00:00:52	1378771252	838530034	669 286 -1 -1	7163 2804 -1 -1	2.9483 1.0624
14	2013-09-10	00:00:58	1378771258	102252757	243 325 -1 -1	2398 3051 -1 -1	0.987 1.156
... truncated table (click to show more)							
25131	2013-09-10	23:59:13	1378857553	170234433	300 646 -1 -1	3178 6002 -1 -1	1.3081 2.2741
25132	2013-09-10	23:59:16	1378857556	934170729	291 371 -1 -1	4045 3668 -1 -1	1.6649 1.3898
25133	2013-09-10	23:59:17	1378857557	611760331	360 544 -1 -1	3633 8795 -1 -1	1.4954 3.3324
25134	2013-09-10	23:59:20	1378857560	788383762	485 459 -1 -1	5799 4255 -1 -1	2.3869 1.6122
25135	2013-09-10	23:59:24	1378857564	325121176	200 218 -1 -1	1649 1795 -1 -1	0.6787 0.6801
25136	2013-09-10	23:59:26	1378857566	610362784	467 607 -1 -1	10064 9347 -1 -1	4.1424 3.5415
25137	2013-09-10	23:59:38	1378857578	483662049	760 68 -1 -1	10223 414 -1 -1	4.2078 0.1569
25138	2013-09-10	23:59:40	1378857580	135409721	178 474 -1 -1	1767 4738 -1 -1	0.7273 1.7952
25139	2013-09-10	23:59:41	1378857581	869564705	76 288 -1 -1	823 2994 -1 -1	0.3388 1.1344

# Stappen



## Download data

Get data from the HiSPARC server.

Station:

Start date:

End date:

Data type:  Events  Weather

## Load local file

Import a downloaded .csv file.

no file selected



Data type:  Events  Weather

Get Data!

### Select datasets to use

Choice 1	Choice 2	Station	Type	Start date	End date	Entries	Preview	Download	Remove
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	501	barometer	2012-06-27 00:00	1 day later	25980	<a href="#">show</a>	<a href="#">get csv</a>	<a href="#">x</a>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	2010	events	2013-12-10 00:00	2013-12-11 00:00	24097	<a href="#">show</a>	<a href="#">get csv</a>	<a href="#">x</a>

Choice 1	Choice 2	Station	Type	Start date	End date	Entries	Preview	Download	Remove
<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	501	barometer	2012-06-27 00:00	1 day later	25980	<a href="#">show</a>	<a href="#">get csv</a>	<a href="#">x</a>
<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	2010	events	2013-12-10 00:00	2013-12-11 00:00	24097	<a href="#">show</a>	<a href="#">get csv</a>	<a href="#">x</a>

### Select variables and settings to plot

**Plot type:**

- Scatter
- Histogram
- Time series

**x-Axis:**

- Linear
- Logarithmic

**y-Axis:**

- Linear
- Logarithmic

**Histogram:**

Bins:

**501 (barometer)**

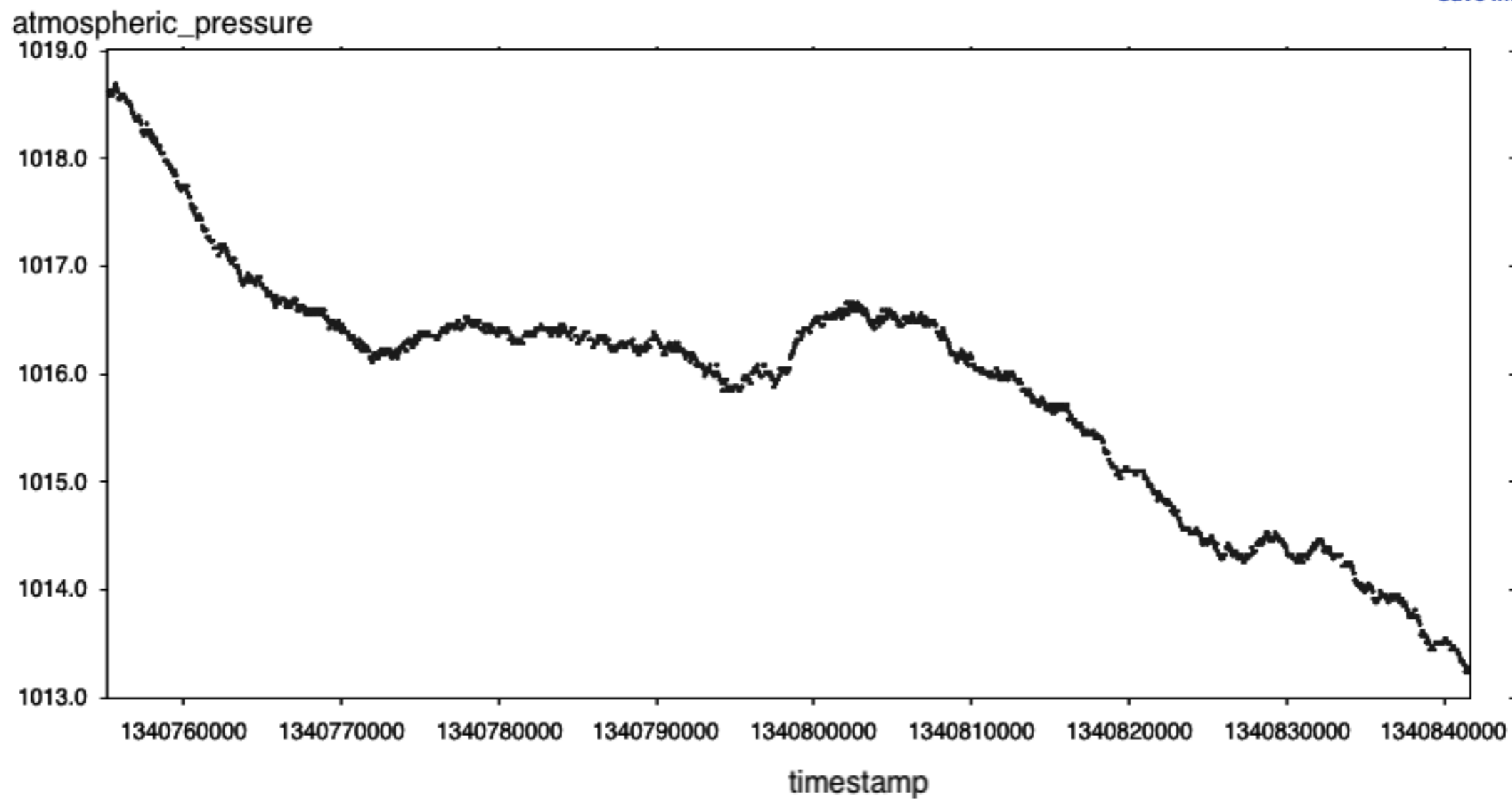
x-Axis	y-Axis	Variable	Units
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Event rate	[Hz]
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Timestamp	[s]
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Atmospheric_pressure	[hPa]

**2010 (events)**

x-Axis	y-Axis	Variable	Units
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Event rate	[Hz]
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Timestamp	[s]
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Nanoseconds	[ns]
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Pulseheights	[ADC]
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Integral	[ADC.ns]
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Number_of_mips	[N]
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Arrival_times	[ns]

## Plot

[Save image](#)



Data type:  Events  Weather

Get Data!

### Select datasets to use

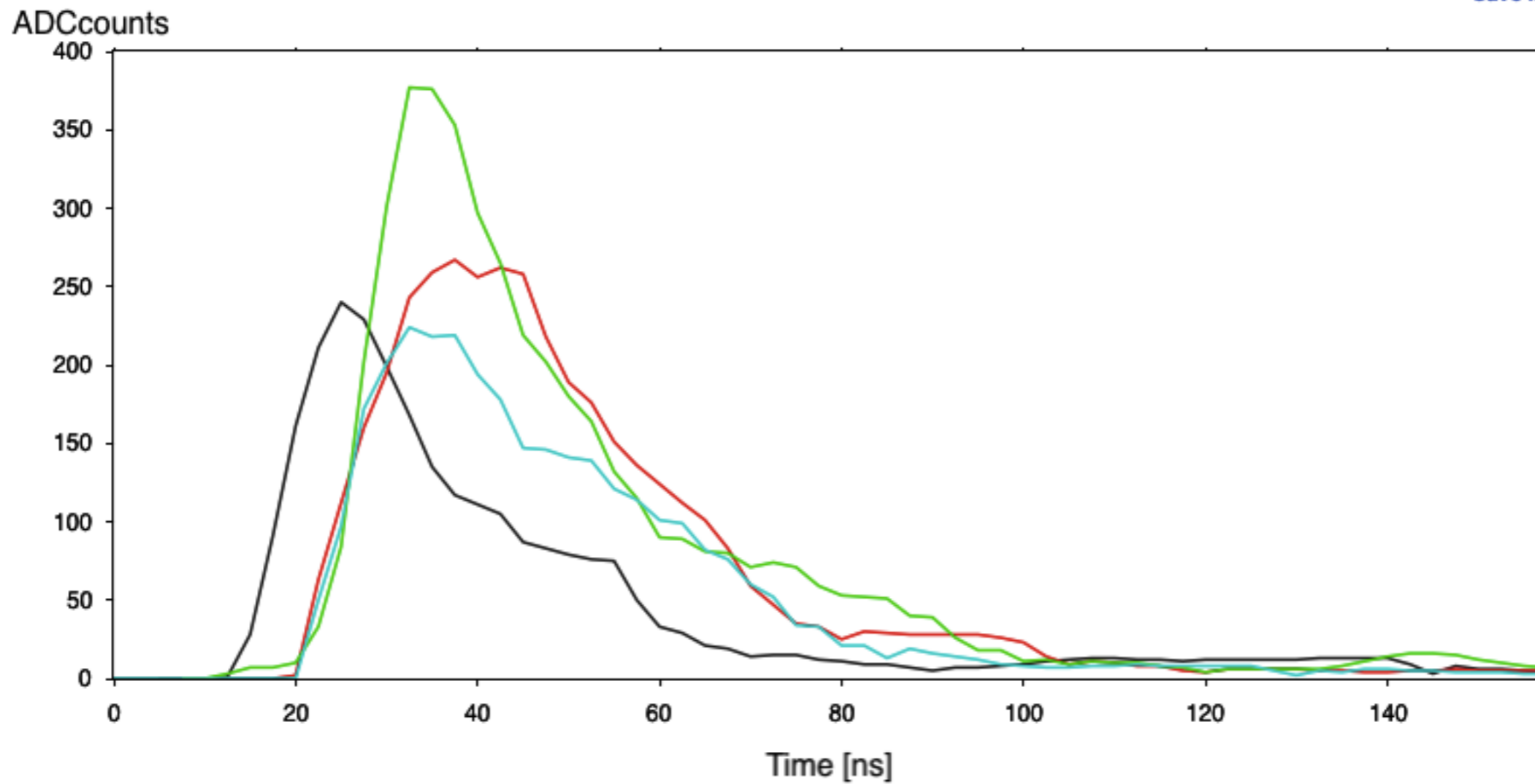
Choice 1	Choice 2	Station	Type	Start date	End date	Entries	Preview	Download	Remove
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	501	barometer	2012-06-27 00:00	1 day later	25980	<a href="#">show</a>	<a href="#">get csv</a>	<a href="#">x</a>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	2010	events	2013-12-10 00:00	2013-12-11 00:00	24097	<a href="#">show</a>	<a href="#">get csv</a>	<a href="#">x</a>

## Raw data in the dataset

#	date	time	timestamp	nanoseconds	pulseheights				integral				number_of_mips			
1	2013-12-10	00:00:04	1386633604	316356284	267	142	-1	-1	2574	2171	-1	-1	1.0548	-999	-1	-1
2	2013-12-10	00:00:04	1386633604	514687429	66	764	-1	-1	383	6941	-1	-1	0.1569	-999	-1	-1
3	2013-12-10	00:00:10	1386633610	2041815	310	67	-1	-1	3316	419	-1	-1	1.3588	-999	-1	-1
4	2013-12-10	00:00:11	1386633611	34179469	416	1104	-1	-1	6315	8643	-1	-1	2.5877	-999	-1	-1
5	2013-12-10	00:00:11	1386633611	140911485	341	203	-1	-1	3755	2707	-1	-1	1.5387	-999	-1	-1
6	2013-12-10	00:00:13	1386633613	835327243	185	324	-1	-1	2751	3776	-1	-1	1.1273	-999	-1	-1
7	2013-12-10	00:00:16	1386633616	197540866	226	353	-1	-1	2859	1970	-1	-1	1.1715	-999	-1	-1
8	2013-12-10	00:00:17	1386633617	572549186	80	293	-1	-1	634	3211	-1	-1	0.2598	-999	-1	-1
9	2013-12-10	00:00:19	1386633619	325857969	90	213	-1	-1	708	4357	-1	-1	0.2901	-999	-1	-1
10	2013-12-10	00:00:24	1386633624	476804673	236	241	-1	-1	2117	2764	-1	-1	0.8675	-999	-1	-1
11	2013-12-10	00:00:25	1386633625	48580650	60	925	-1	-1	292	8169	-1	-1	0.1197	-999	-1	-1
12	2013-12-10	00:00:30	1386633630	411534830	64	289	-1	-1	300	3687	-1	-1	0.1229	-999	-1	-1
13	2013-12-10	00:00:33	1386633633	258047273	432	621	-1	-1	5754	8412	-1	-1	2.3579	-999	-1	-1
14	2013-12-10	00:00:45	1386633645	453753695	298	117	-1	-1	3076	1119	-1	-1	1.2605	-999	-1	-1
... truncated table (click to show more)																
24083	2013-12-10	23:59:11	1386719951	549731025	254	75	-1	-1	3007	930	-1	-1	1.2322	-999	-1	-1
24084	2013-12-10	23:59:14	1386719954	639980112	778	109	-1	-1	9546	1727	-1	-1	3.9117	-999	-1	-1
24085	2013-12-10	23:59:20	1386719960	930306758	128	79	-1	-1	939	1109	-1	-1	0.3848	-999	-1	-1
24086	2013-12-10	23:59:22	1386719962	330236234	2026	1107	-1	-1	39474	20515	-1	-1	16.1755	-999	-1	-1
24087	2013-12-10	23:59:22	1386719962	576740175	237	137	-1	-1	2132	1845	-1	-1	0.8736	-999	-1	-1

## Plot

[Save image](#)



## Raw data in the dataset

pulseheights				integral				number_of_mips				arrival_times			trace	
16	9	2	438	4466	0	0	6095	1.4755	0	0	1.7169	12.5	-999	-999	30	<a href="#">show</a>
2	259	304	2	0	2749	2987	0	0	0.8001	0.8782	0	-999	12.5	12.5	-999	<a href="#">show</a>

# Demo



# HiSPARC



# Opdracht

- Ga naar <http://data.hisparc.nl/media/jsparc/index.html>
- Volg de link naar Data retrieval
- Kies (eigen) station, begin en eind datum en data type
  - Begin met één dag of minder
- Klik op Get Data!

# Opdracht (offline)

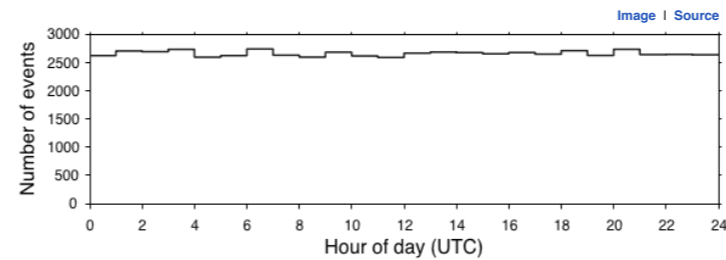
- Open data\_retrieval.html in de map jsparc
- Kies via de 'Load local file' data uit de examples map
- Klik op Load Data!

# Reproduceer grafiek

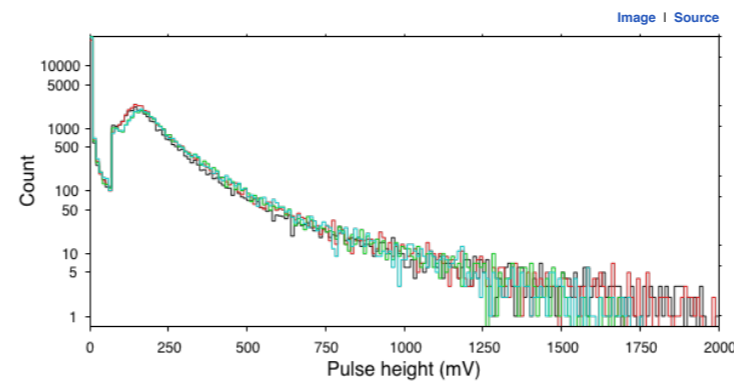
- Probeer de grafieken van [data.hisparc.nl](http://data.hisparc.nl) na te maken.

- Aantal events per uur
- Pulsehoogte histogram
- Pulsintegraal histogram
- Temperatuur metingen
- Luchtdruk metingen

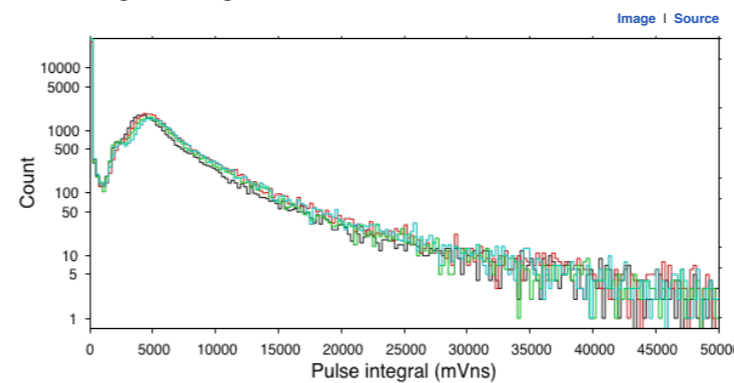
Event histogram (number of events per hour)



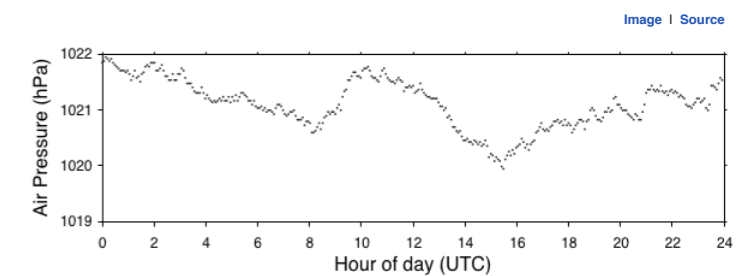
Pulseheight histogram



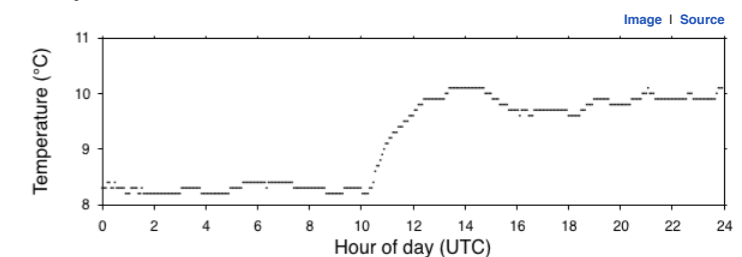
Pulsintegraal histogram



Barometer data

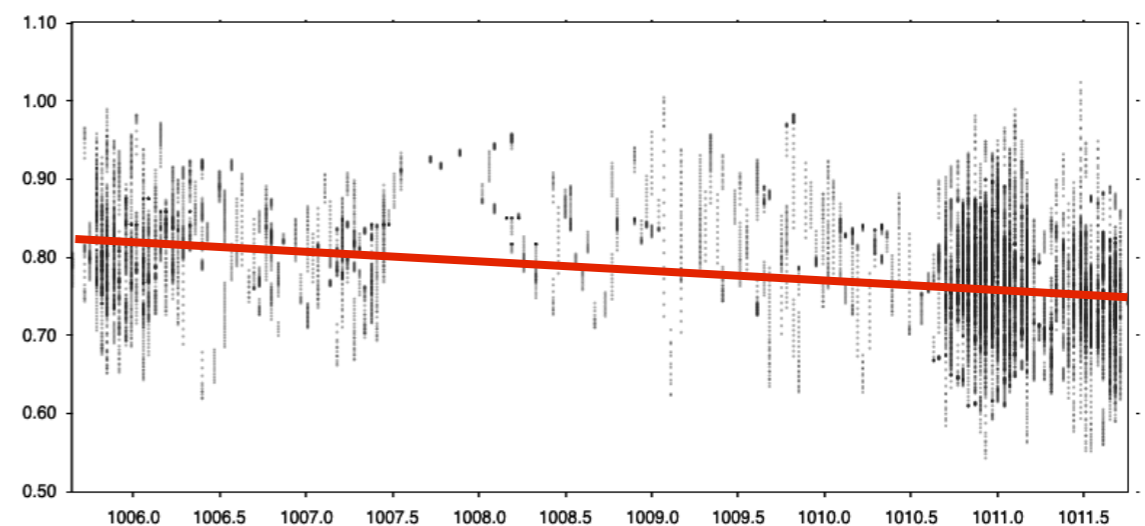
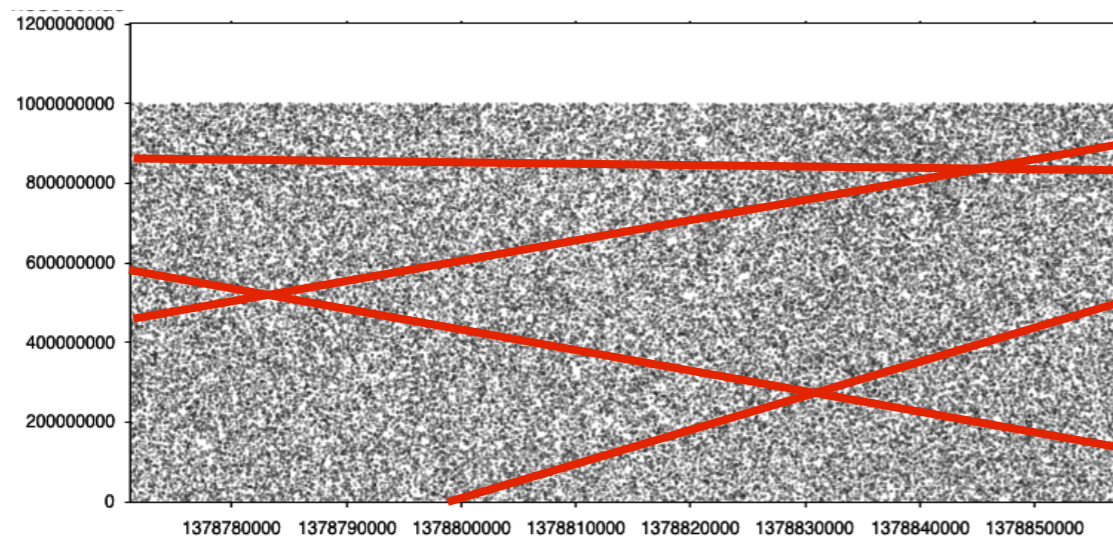


Temperature data



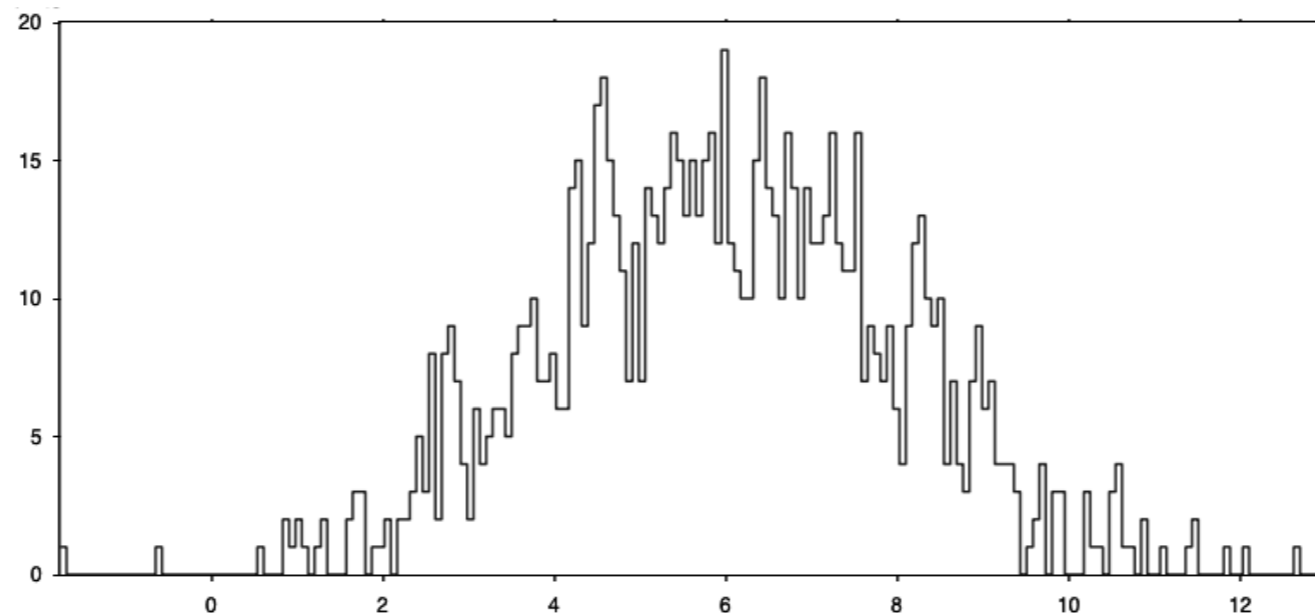
# Correlaties in data

- Tussen variabelen in de kosmische straling data
- Tussen weer metingen en kosmische straling
  - Wordt in veel profielwerkstukken bekeken:  
[www.hisparc.nl/docent-student/werk-van-studenten/](http://www.hisparc.nl/docent-student/werk-van-studenten/)
  - Profielwerkstukken, Master, Bachelor en stageverslagen



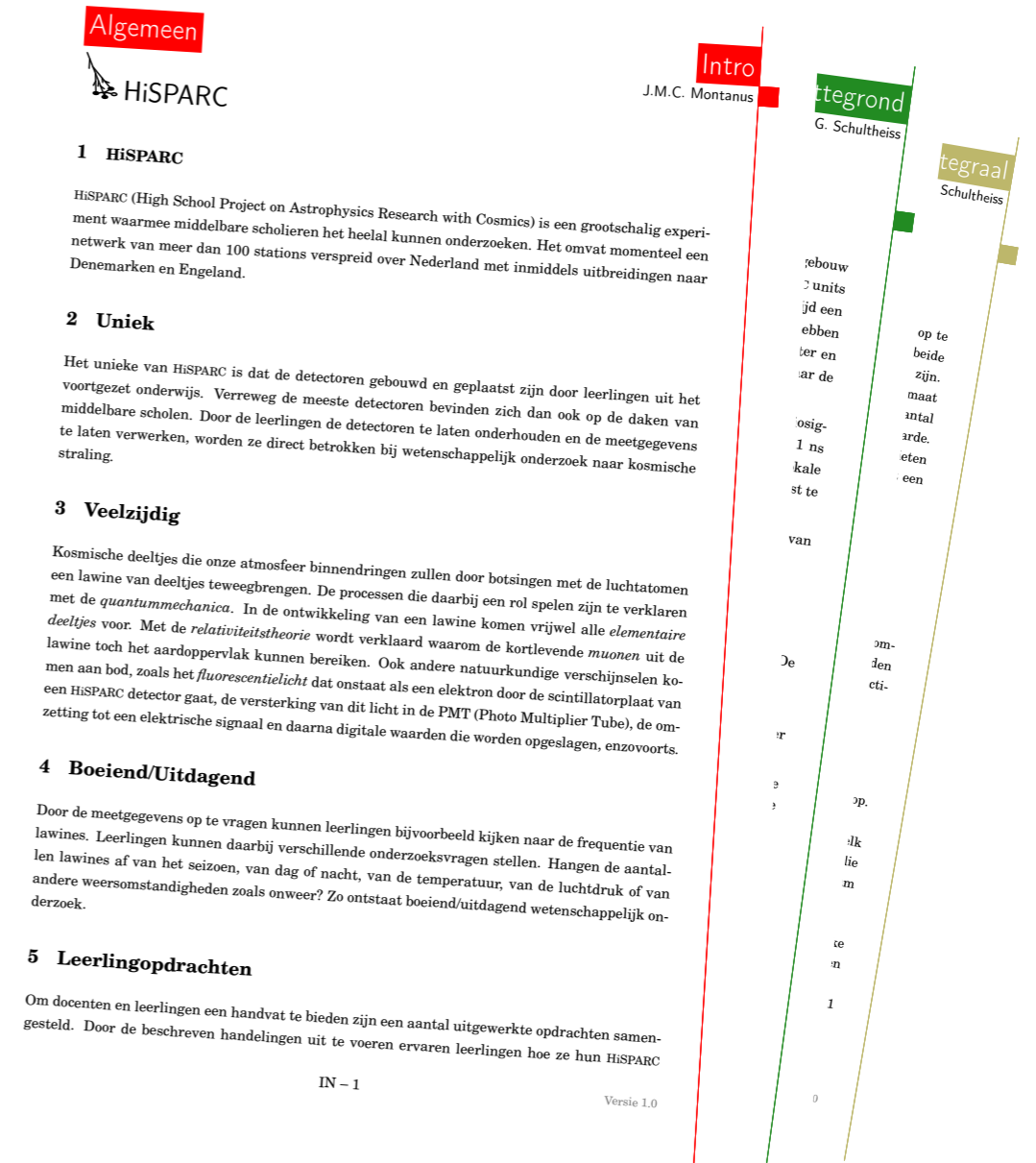
# Andere data

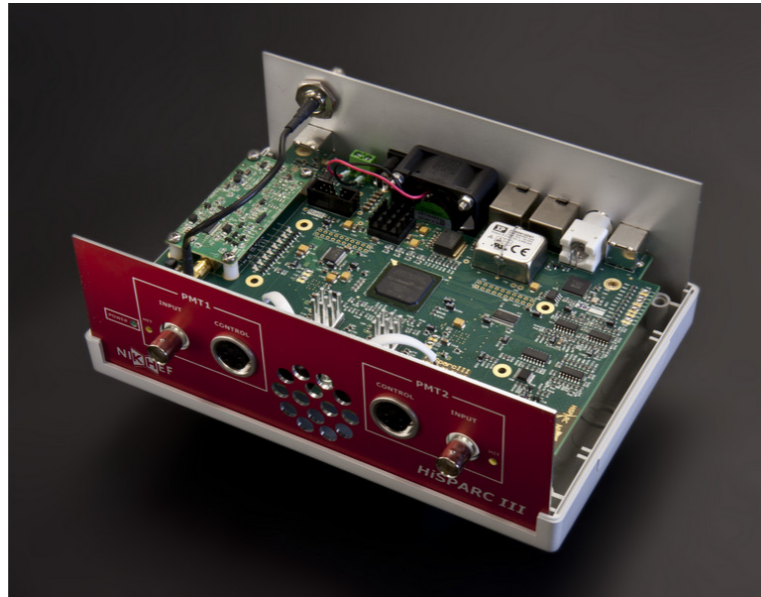
- Herkent csv bestanden van HiSPARC data pagina's
- Importeert andere csv bestanden
  - Tab gescheiden kolommen
  - Als voorbeeld 'random\_data.csv' bij examples



# HiSPARC pakket

- Lesbrieven
  - Theorie
  - Detector onderhoud
  - Data analyse
- Werkbladen
  - Met docentenhandleiding!





**Figuur 2.1** – De HiSPARC master unit, foto uit [1]. In de blokken PMT 1 en PMT 2 zijn twee gele ledjes te zien. Deze lichten op als er deeltjes door respectievelijk detector 1 of detector 2 wordt gemeten. In de praktijk worden de detectoren ongeveer elke 10 ms geraakt. Achter de koelgaten is een witte led te zien. Deze licht op als beide detectoren binnen een tijdsinterval van 1,5  $\mu$ s deeltjes waarnemen, dit komt veel minder vaak voor.

**Opdracht 2:** Bepaal naast het gemiddelde ook de maximale en de minimale waarde. Leg uit welke nauwkeurigheid je verwacht.

---



---



---

De nauwkeurigheid is ook wiskundig te bepalen. daartoe gaan we de spreiding  $\sigma$  uitrekenen.

**Opdracht 3:** Bereken het gemiddelde van  $N^2$ .

	1	2	3	4	5	$(N^2)_{\text{gem}}$
$N^2$						

De spreiding is nu te berekenen met  $\sigma = \sqrt{(N^2)_{\text{gem}} - (N_{\text{gem}})^2}$  dit is dus de wortel uit het gemiddelde van de kwadraten min het kwadraat van het gemiddelde ( $N_{\text{gem}}$  is al in opdracht 1 berekend).

**Opdracht 4:** Welke conclusie mag je trekken als je de waarden die je bij opdracht 2 en 3 hebt gevonden vergelijkt?

---



---



---

## 2.2 Controle van de hypothese

Het signaal van een enkele detector -een single- wordt gezien als achtergrondstraling. De gelijktijdige signalen van twee detectoren -een event- wijzen op een air-shower. Beide delen van de hypothese zijn natuurlijk te onderzoeken.

### 2.2.1 Het signaal van een enkele detector wordt gezien als achtergrondstraling.

Hoe groot is de kans dat het station wordt getriggerd door achtergrondstraling? De detector geeft alleen een signaal af als er een deeltje door de detector gaat. Om van een air-shower te spreken moeten de deeltjes binnen een triggervenster van 1,5  $\mu$ s gedetecteerd worden. De achtergrondstraling zorgt dat gemiddeld ongeveer elke 10 ms een deeltje door een detector van 0,500 m bij 1,000 m schiet<sup>2</sup>. Als deze singles netjes verdeeld zouden zijn, is de kans op een tweede toevallig gemeten deeltje van de achtergrondstraling binnen het triggervenster van 1,5  $\mu$ s te berekenen.

**Opdracht 5:** Bereken (met een boxplot) hoe groot de kans is dat er een tweede radioactief verval binnen 1,5  $\mu$ s van de eerste radioactief verval optreedt.

---



---



---

Een nettere manier om deze kans te berekenen is in 1838 door Siméon Poisson [2] gepubliceerd:

$$P_k = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \quad (2.1)$$

Hierin is  $k = 1$  als een tweede detector precies éénmaal getriggerd wordt.  $\lambda$  is hier de frequentie van de achtergrondstraling maal de duur van het triggervenster ( $\lambda = f_{\text{single}} * T_{\text{venster}}$ ).

**Opdracht 6:** Laat zien dat de met de boxplot berekende waarde nauwelijks afwijkt van de met de Poisson-formule berekende waarde  $P_{k=1}$ .

---



---



---

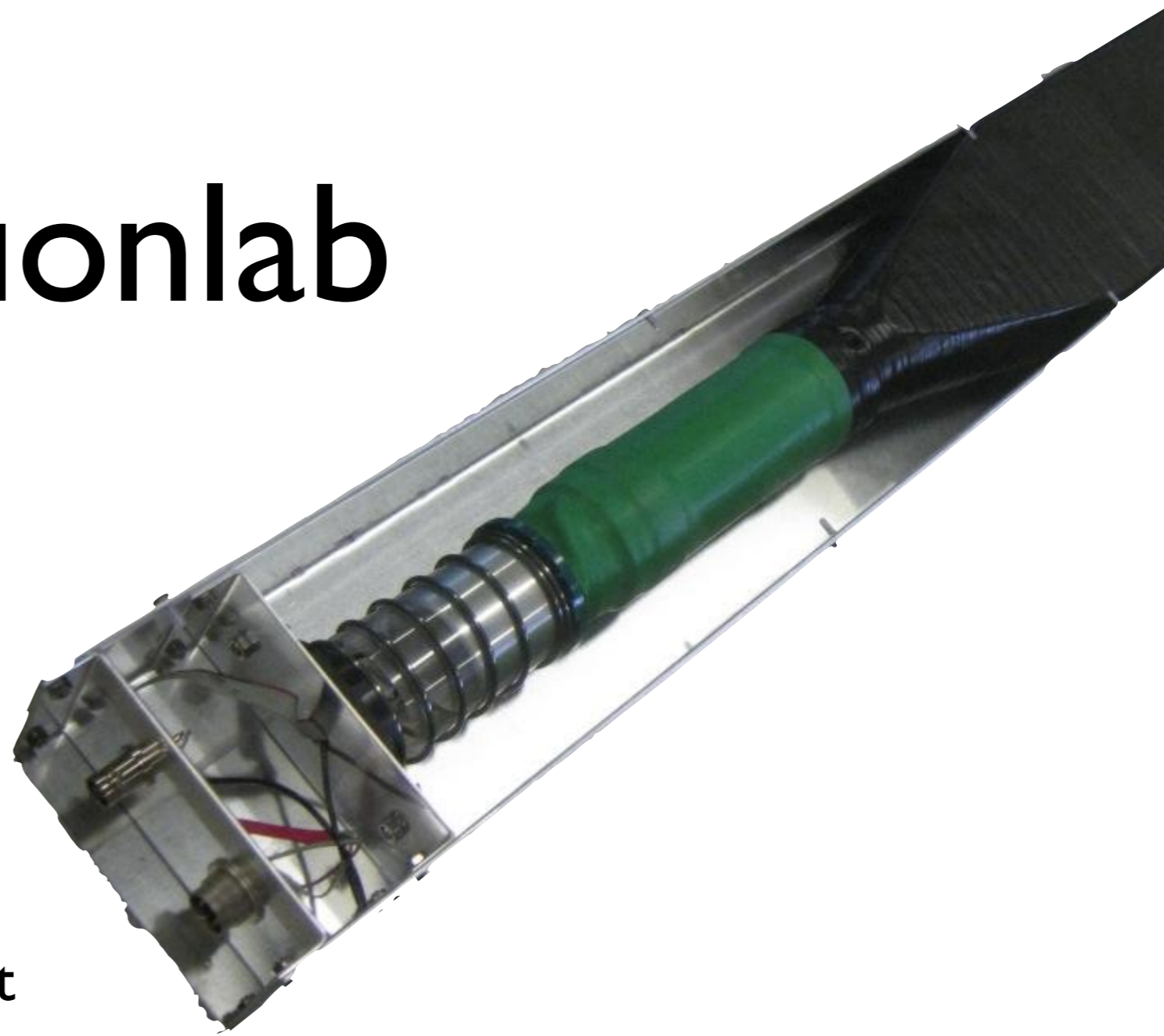
Eventueel geldt bij een toevallige trigger ook  $k = 2$ ,  $k = 3$  etc. In het algemeen nemen we  $k > 0$  (met  $k \in \mathbb{N}$ ). De kans dat er GEEN toevallige trigger optreedt is  $P_{k=0}$ .

<sup>2</sup>Als er op school een Geigerteller is, kan de achtergrondstraling in [pulsen/s/m<sup>2</sup>] ook worden gemeten. Naast het aantal pulsen per seconde is dus ook het oppervlak van de detector van belang.



# Muonlab

- Nieuwe versie
  - Compactere detectoren
  - Zelf bouwen
  - Nieuwe software
  - Demo bij ons op de markt
- Its Academy & Jan Oldenziel (UvA/Nikhef)
  - Peiling van intresse





# Data verwerking

[data.hisparc.nl/media/jsparc/index.html](http://data.hisparc.nl/media/jsparc/index.html)

## Website

[www.hisparc.nl](http://www.hisparc.nl)

## Bron code

[www.github.com/hisparc](http://www.github.com/hisparc)

## Public Database

[data.hisparc.nl](http://data.hisparc.nl)

## Documentatie

[docs.hisparc.nl](http://docs.hisparc.nl)



© Arne de Laat  
153957 Photography  
<http://arne.delaat.net>