

Punaisista revontulikaarista

Emma.Bruus@ursa.fi, 11.2.2023

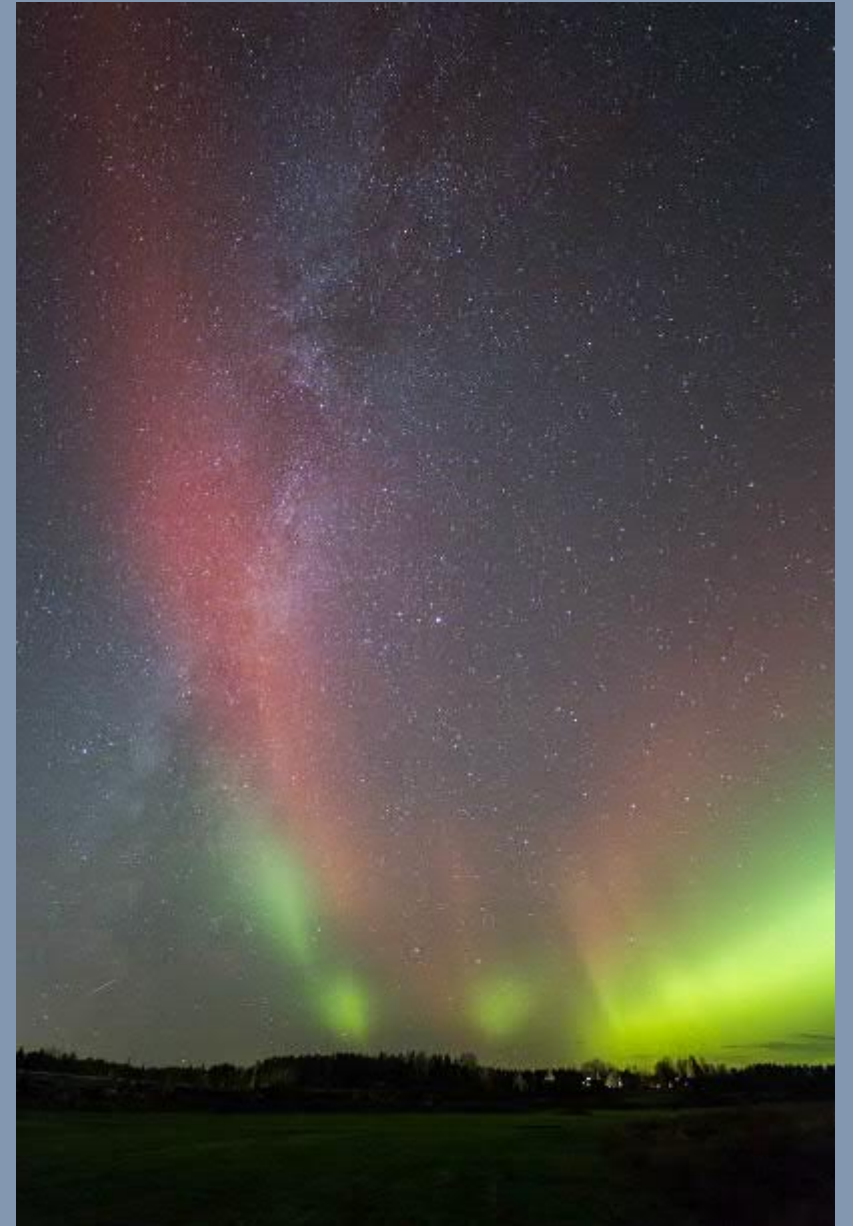


SAR-kaaret




- Stable Auroral Red
- Syvänpunaisia, piirteettömiä, vakaita ja himmeitä revontulikaaria
- Erillään muusta revontulesta
- Löytövuosi: 1957
- Tutkimustiimi: D. Barbier
- Korkeus: 300-700 km
- Tarttuvat kuviin Linnunradan asetuksilla
- Syntyvät ilmakehän neutraalien atomien lämpöliikkeestä

Yhteisö:
SAR-kaaren
alla vihreät
läiskät?

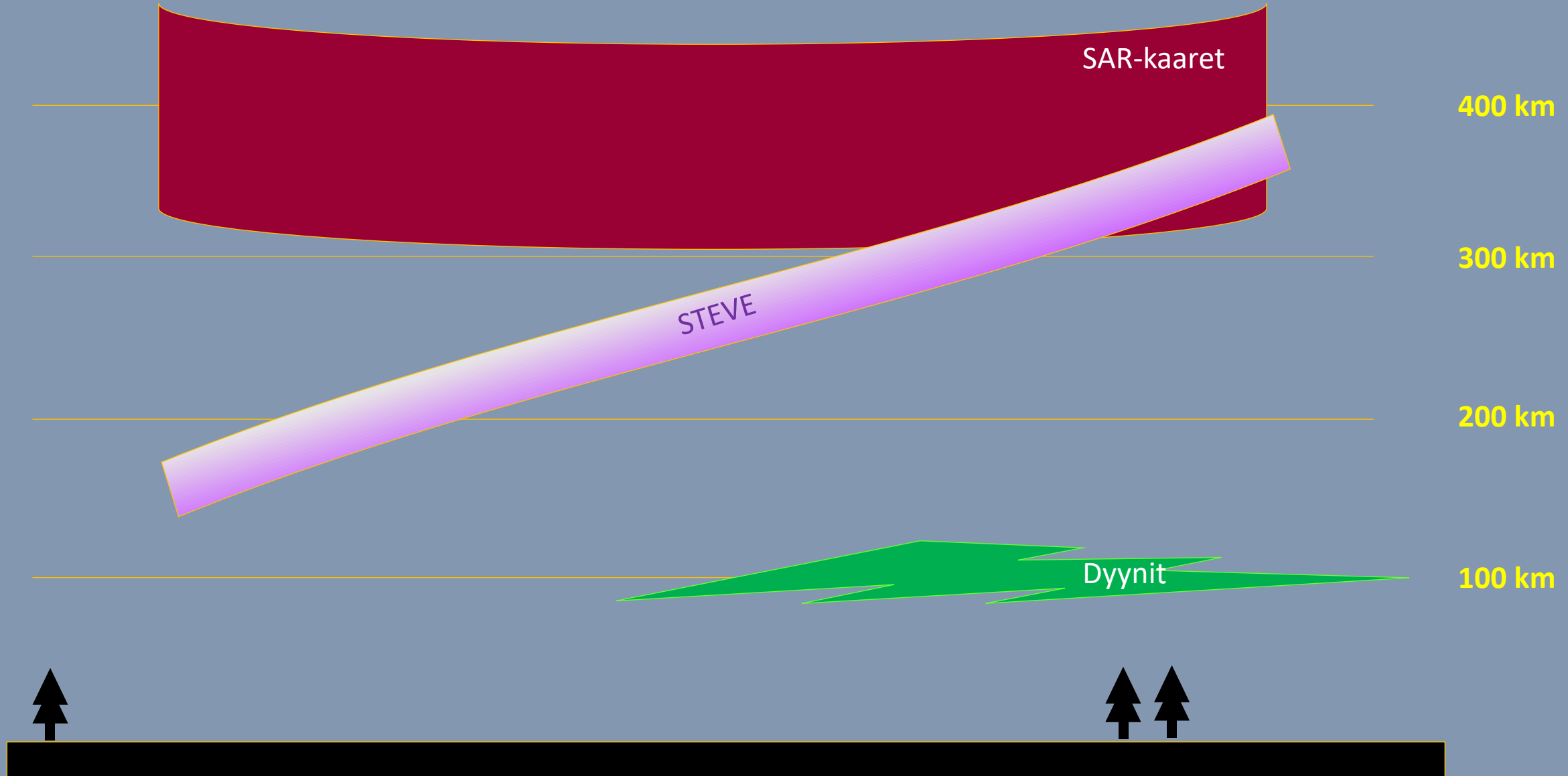


Kuva: Pirjo Koski 4.11.2018

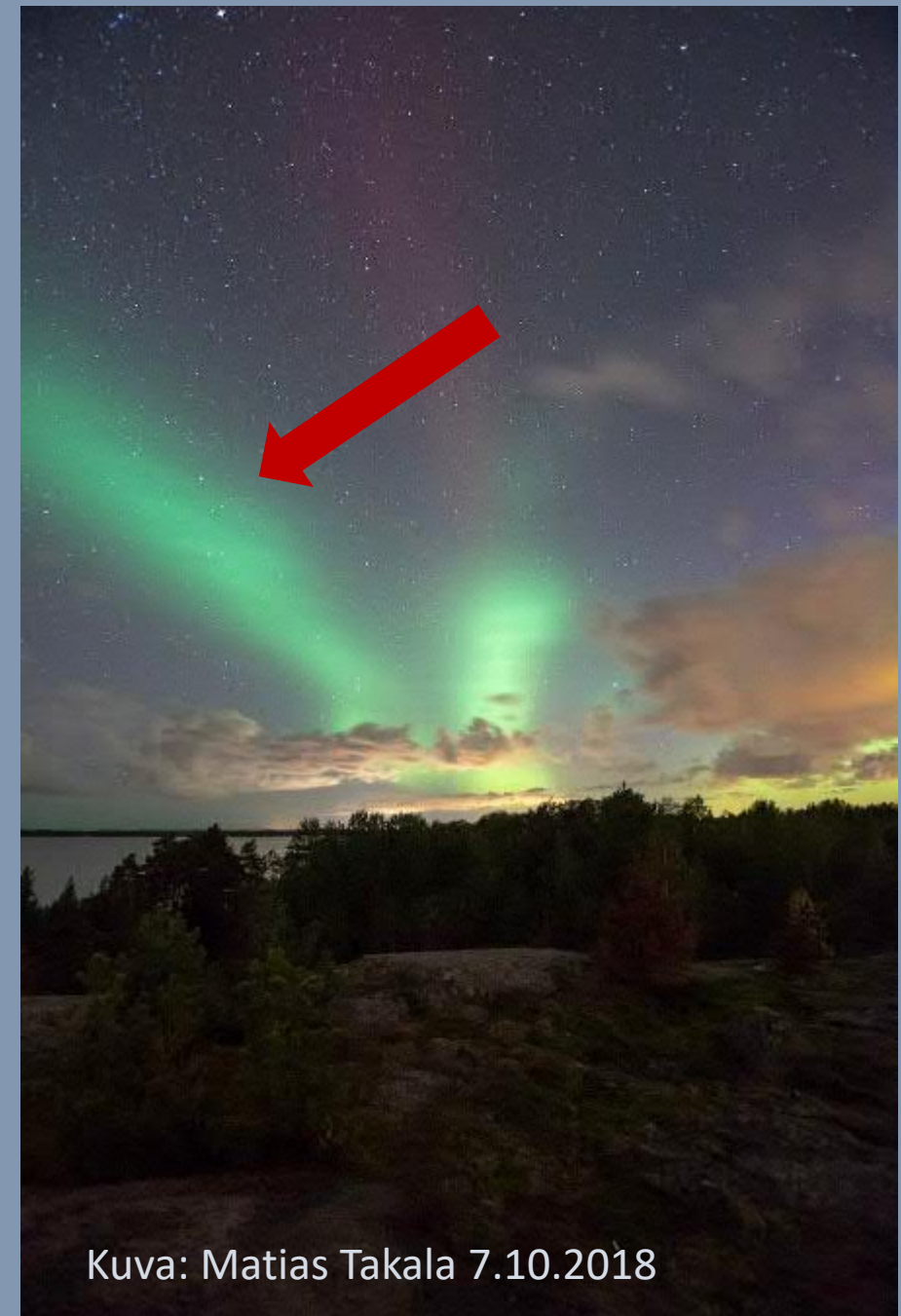
A man in a blue and white plaid shirt and blue jeans is sitting on a large rock by a rocky shoreline. He is holding a camera in his hands and looking towards the camera. To his right, a camera is mounted on a tripod. The background shows a large body of water with waves crashing against the rocks, and a forested island in the distance under a cloudy sky.

Matti Helin: “Me tiedetään millä korkeudella ne vihreät läiskät on, koska...”

Korkeuksista



Dyyneistä korkeus!



Virpi Kauko: “...ne ovat sinertäviä”

Arto Oksanen: “Protonirevontulet ovat ennestään tunnettu revontulimuoto””

Protonirevontulet? Blob aurora? IPA?

- Aallonpituus sinertävän valon alueella oleva 486,1 nm + vihreä 557,7 nm
- Ei kovin kirkkaita
- Erillisiä diffuuseja kaaria (tai läiskiä), joissa ei ole säteitä
- Voidaan todeta spektrin perusteella tai 468,1 nm kapeakaistasuotimen läpi kameralla otetuista kuvista

Mutta miksi näitä näkyy SAR-kaaren _alla_?



Kuva: Eero Karvinen 24.10.2020

Toshi Nishimura

Oliko teillä näitä SAR-
kaarellisia tapauksia
paljonkin?



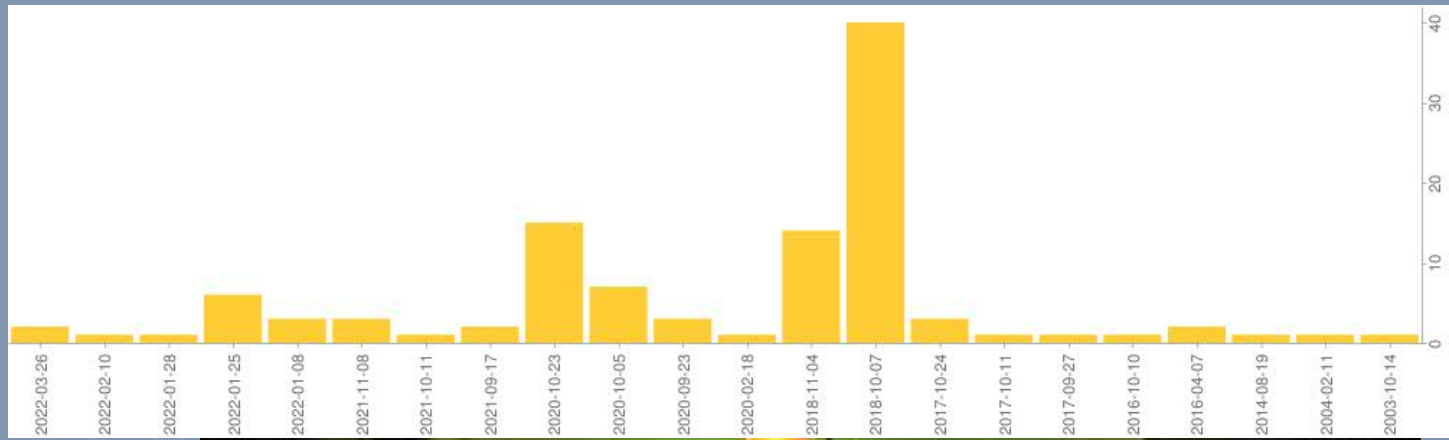
“On! Ootas me kaivellaan
Taivaanvahdista...”

Avaruusfysiikan tutkija,
Bostonin yliopisto

2003-10-14
 2004-02-11
 2014-08-19
 2016-04-07
 2016-10-10
 2017-09-27
 2017-10-11
 2017-10-24
 2018-10-07
 2018-11-04
 2020-02-18
 2020-09-23
 2020-10-05
 2020-10-23
 2021-09-17
 2021-10-11
 2021-11-08
 2022-01-08
 2022-01-25
 2022-01-28
 2022-02-10
 2022-03-26

22 yötä!

1
 1
 1
 2
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 3
 40
 14
 1
 3
 7
 15
 2
 1
 3
 3
 6
 1
 1
 2



Kuva: Lauri Kangas 7.4.2016

Osallistuneet havaitsijat Taivaanvahdissa

Aki Karjalainen	1	Jani Lauanne	1	Markku Siljama	1	Rauni Pakkala	1
Anonyymi	1	Jari Ylioja	2	Marko Myllyniemi	1	Reea Lunden	1
Anssi Toivanen	1	Jesse Kyytinen	1	Marko Vesapuisto	2	Reijo Keskikiikonen	1
Antero Ohranen	1	Jorma Mäntylä	1	Matias Takala	1	Riku Talvio	1
Ari Lehtolahti	1	Juha Nyman	1	Mika Nieminen	1	Satu Juvonen	3
Arto Oksanen	8	Juhana Järvensivu	1	Mika Yrjölä	1	Seija Hakala	1
Atacan Ergin	1	Jukka Kytömäki	2	Mikko Peussa	1	Seija Ropponen	1
Camilla Sipponen	1	Kari Heinonen	2	Minna Glad	1	Sirpa Pursiainen	1
Donna Lach, Kanada	2	Kari Kuninkaanniemi	1	Minna Hintsala	1	Taisto Mäkelä	2
Eero Karvinen	5	Kari Saari	1	Minna Wires	1	Teppo Laitinen	2
Eila Tiirinen	1	Kata Sivunen	1	Nooa Tuomi	1	Terhi Törmälä	1
Emma Bruus	1	Kimmo Höykinpuro	1	Pasi Nurmikumpu	1	Tero Marin	1
Erkki Antikainen	1	Kirsi Nikkola	2	Pekka Parviainen	2	Tero Sipinen	1
Esa Palmi	1	Lasse Nurminen	1	Pentti Arpalahti	1	Timo Alanko	1
Hannele Tyynelä-Vilhunen	1	Lauri Kangas	1	Petri Kangasniemi	1	Tommy Lågland	2
Harri Kiiskinen	2	Malin Englund	1	Petri Martikainen	1	Vesa Puistovaara	1
Heidi Rikala	5	Mari Jääskeläinen	1	Petri Sallinen	2	Vesa Vauhkonen	1
Jani Lauanne	1	Maria Rönni	1	Pirjo Koski	3	Ville Miettinen	1
		Markku Ruonala	3	Pirjo Sinkkonen	1	Villem Ehasalu, Viro	1
				Raija Kokkola	1	Virpi Kauko	3

JGR Space Physics

RESEARCH ARTICLE

10.1029/2022JA030570

Key Points:

- Citizen scientist photographs revealed a peculiar evolution of subauroral emission during substorms
- Initial red and green emissions were identified as proton aurora by secondary electrons
- The transition from proton aurora to a SAR arc was found. Proton aurora gives evidence of proton injection as initiation of the SAR arc

Correspondence to:

Y. Nishimura,
toshi16@bu.edu

Citation:

Nishimura, Y., Bruus, E., Karvinen, E., Martinis, C. R., Dyer, A., Kangas, L., et al. (2022). Interaction between proton aurora and stable auroral red arcs unveiled by citizen scientist photographs. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127, e2022JA030570. <https://doi.org/10.1029/2022JA030570>

Received 19 APR 2022

Accepted 21 JUN 2022



Eero Karvinen,
myrsky- ja revontuliharrastaja

Interaction Between Proton Aurora and Stable Auroral Red Arcs Unveiled by Citizen Scientist Photographs

Y. Nishimura¹ , E. Bruus², E. Karvinen³ , C. R. Martinis⁴ , A. Dyer⁵ , L. Kangas²,
H. K. Rikala⁶, E. F. Donovan⁷ , N. Nishitani⁸ , and J. M. Ruohoniemi⁹ 

¹Department of Electrical and Computer Engineering and Center for Space Physics, Boston University, Boston, MA, USA, ²Taivaanvahti/Skywarden Observation Service, Ursa Astronomical Association, Helsinki, Finland, ³Citizen Scientist, Nurmes, Finland, ⁴Department of Astronomy and Center for Space Physics, Boston University, Boston, MA, USA, ⁵Citizen Scientist, Strathmore, AB, Canada, ⁶Citizen Scientist, Valtimo, Finland, ⁷Department of Physics and Astronomy, University of Calgary, Calgary, AB, Canada, ⁸Institute for Space Earth Environmental Research, Nagoya University, Nagoya, Japan, ⁹Bradley Department of Electrical and Computer Engineering, Virginia Tech, Blacksburg, VA, USA

Abstract We utilized citizen scientist photographs of subauroral emissions in the upper atmosphere and identified a repeatable sequence of proton aurora and subauroral red (SAR) arc during substorms. The sequence started with a pair of green diffuse emissions and a red arc that drifted equatorward during the substorm expansion phase. Simultaneous spectrograph and satellite observations showed that they were subauroral proton aurora, where ion precipitation created secondary electrons that illuminated aurora in green and red colors. The ray structures in the red arc also indicated existence of low-energy electron precipitation. The green diffuse aurora then decayed but the red arc (SAR arc) continued to move equatorward during the substorm recovery phase. This sequence suggests that the SAR arc was first generated by secondary electrons associated with ion precipitation and may then transition to heat flux or Joule heating. Proton aurora provides observational evidence that ion injection to the inner magnetosphere is the energy source for the initiation of the SAR arc.

Plain Language Summary Photographs that were taken by citizen scientists at Strathmore (Canada), Orimattila (Finland) and Ikaalinen (Finland) revealed peculiar green bands and blobs and red arcs in the night sky equatorward of the auroral oval. Those are different from STEVE (Strong Thermal Emission Velocity Enhancement) due to the lack of the purple/mauve arc and green picket fence. Using concurrent scientific instruments, we identified that those are a type of proton aurora that is illuminated by electrons induced by proton precipitation from space. The proton aurora transitions to a stable auroral red (SAR) arc. A series of photographs suggests that the SAR arc is initiated by proton precipitation, which has been suggested but never been demonstrated previously. The citizen scientist photographs played a critical role in unveiling the interaction between the proton aurora and SAR arc.

Avainhuomiot

Havainnot:

- Lauri Kangas 7.4.2016, Orimattila, Ursan Artjärven havaintokeskus
- Heidi Rikala 4.11.2018, Ikaalinen
- Alan Dyer 14.10.2021 Strathmore, Kanada (51°N)

- Punainen ja vihreä kaari todella ovat taivaalla päällekkäin
- Vihreä utu on protonirevontulta 110 km korkeudessa
- Punainen kaari yllä on 230 km korkeudessa
- Protoni/ionivirta aiheuttaa välillisesti myös punaisen revontulen
- Protonivirta voi antaa sykäyksen SAR-kaaren synnylle

SAR-kaaren?!

...alla vihreät läiskät

Kuva: Heidi Rikala 4.11.2018

SAR-kaaret

- Stable Auroral Red Säteitä?
- Syvänpunaisia, piirteettömiä, vakaita ja himmeitä revontulikaaria
- Erillään muusta revontulesta
- Löytövuosi: 1957
- Tutkimustiimi: D. Barbier
- Korkeus: 300-700 km
- Tarttuvat kuviin Linnunradan asetuksilla
- Syntyvät ilmakehän neutraalien atomien lämpöliikkeestä

230 km?

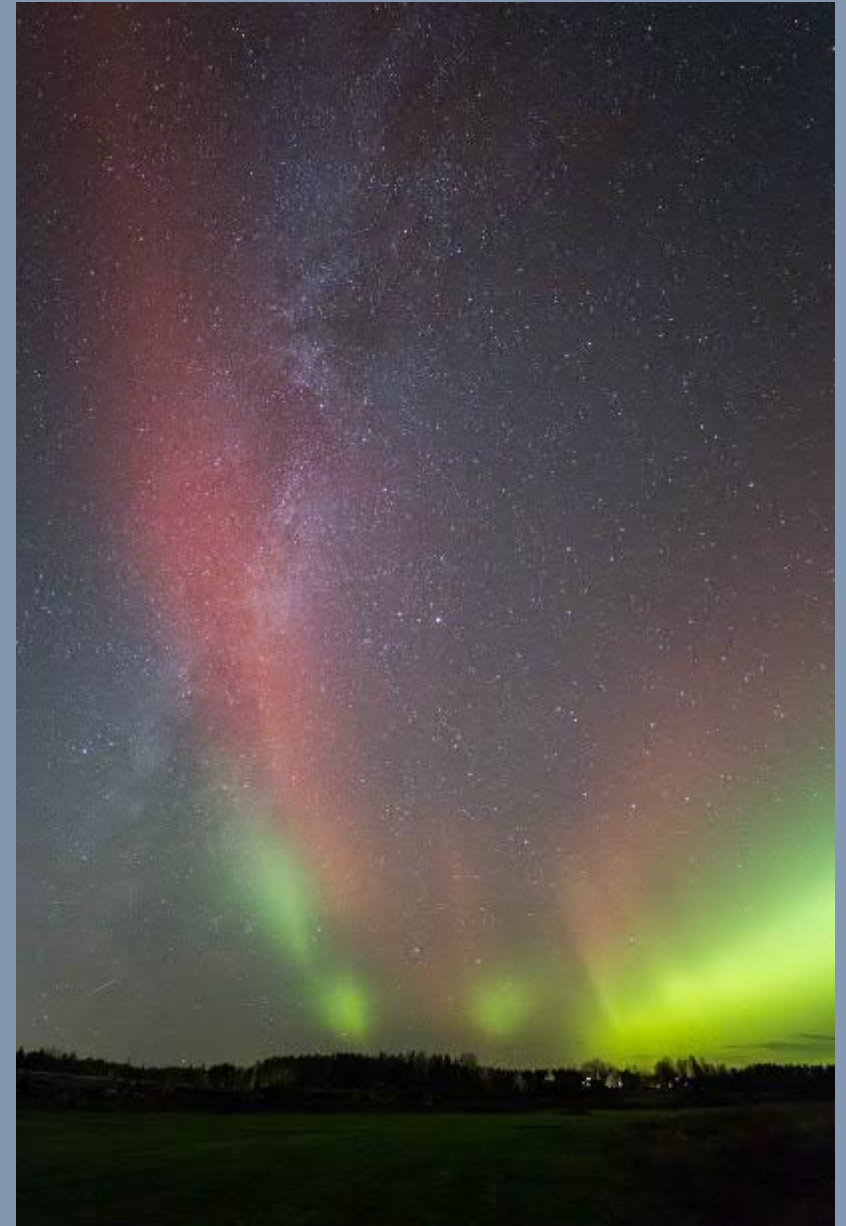
Hä? Ionivirta ?

”SAR-kaari –
oletettu”



Red **A**rc with **G**reen **D**iffuse **A**urora
RAGDA

Punainen kaari vihreällä udulla



Kuva: Pirjo Koski 4.11.2018

Red Arc with Green Diffuse
Aurora
RAGDA

Punainen kaari vihreällä udulla

Stable Auroral Red
SAR

Vakaa punainen kaari

Strong Thermal Emission Velocity
Enhancement
STEVE

Väri	Punainen (yläosa) Sinivihreä (alaosa)	Punainen	Lila, harmaa, valkoinen
Olemus	Diffuusi kaksikerroksinen kaaripari	Himmeä, utuinen	Kapea, zoomattaessa erotettavissa hienorakenteita, joskus säteinen
Kesto	10 min – 45 min	Tunteja, jopa päiviä	10 min – 1 h
Epättyypillisiä muotoja	Punaisessa voi olla säteitä Voi muuttua SAR-kaareksi aurinkotuulen hiukkasvirran poistuttua	SAR-kaaria voi näkyä useita samaan aikaan	Voi muuttua SAR-kaareksi siksi että ...ööö...???

Kaikki kolme kaarta kulkevat *yli taivaan* ja ovat *erillään revontuliovaalista* lähempänä pohjoista

STEVE



Kuva: [Eero Karvinen 26.3.2022](#)



Kuva: Atacan Ergin 11.10.2017

PHOTOGRAPHER
ATACAN ERGIN

Pekka Parviainen/Polar image 6.11.2000

SAR-kaari



STEVE: Epätavallisia tapauksia

Säteinen STEVE



“Double-Layer STEVE”



Kuinka havaita ja tallentaa näitä kaaria ?

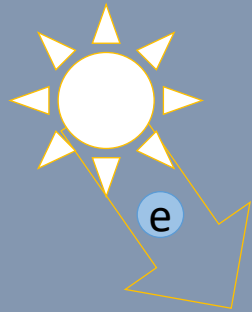
- Kuvaa asetuksiltaan kuin linnunrataa
- Valotus jopa 20-30s, ISO 1600
- Laajakulma
- Kuvaa itään ja länteen ohi ovaalista
- ...jopa etelään
- Ennen havaintoiltaa, kameran kello aikaan
- Kuvankäsittely exifit säästään
- Lähetä havainto Ursan Taivaanvahtiin
 - www.taivaanvahti.fi
- Älä tuhoa kuviasi!



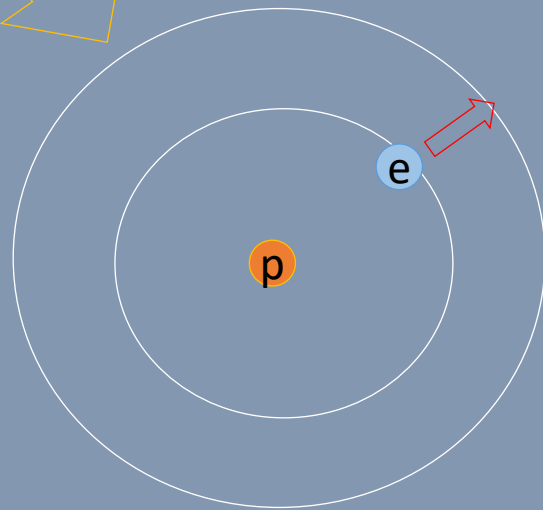
Kiitos!

Emma.Bruus@ursa.fi

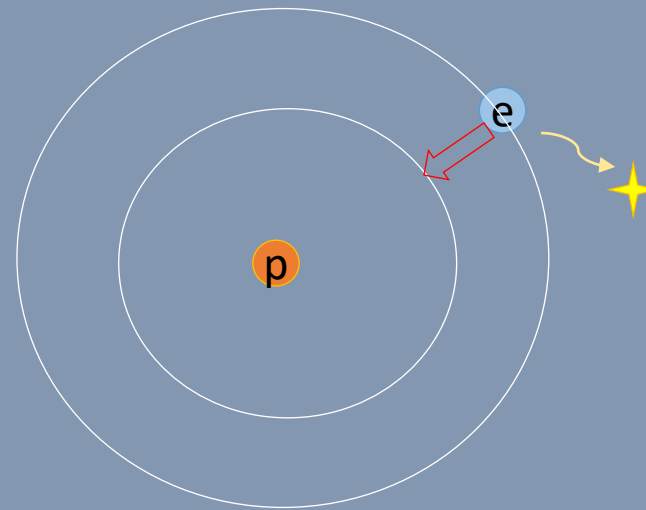
Revontulet syntyvät aurinkotuulesta



- Yleensä aiheuttajana aurinkotuulen elektronit



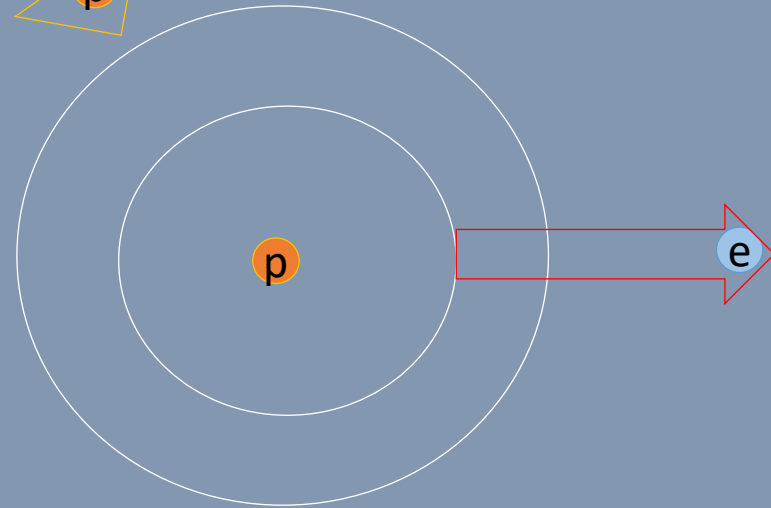
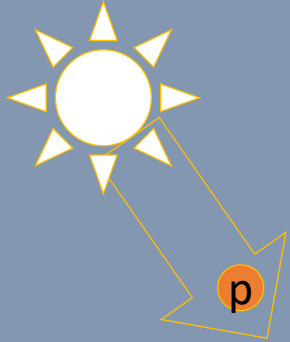
1.



2.

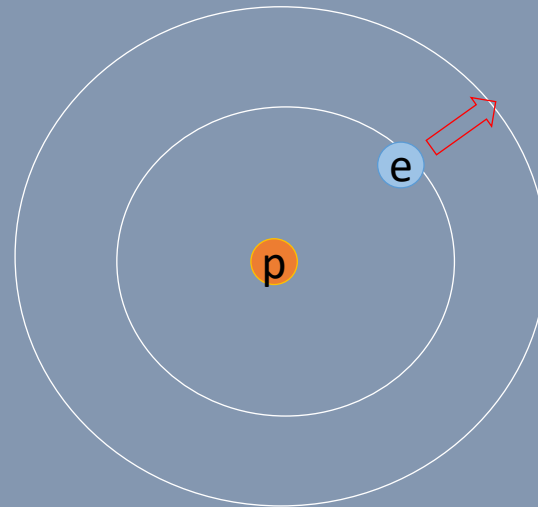
Punaisen kaaren synty protonirevontulen ylle

- Jos törmäyksessä on paljon energiaa, irtoaa elektroni fotonin sijaan
- Protonin massa on suurempi kuin elektronin

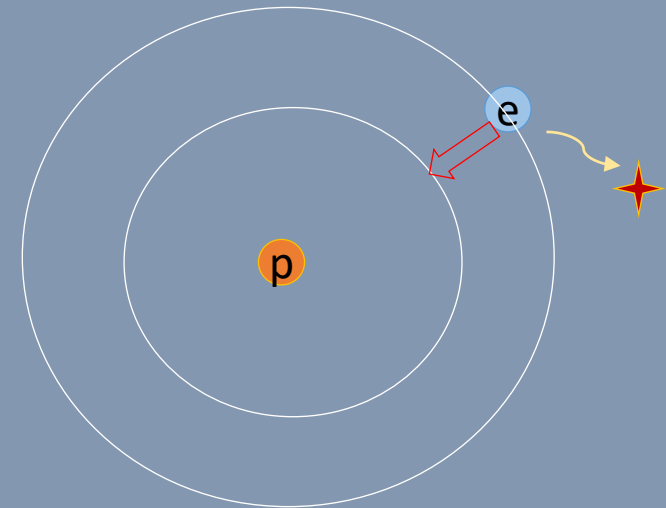


Happea ja typpeä

1.



2.



3.

Mitä eri korkeuksilla oikeasti tapahtuu?

