

(ทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่)

สัญญาเลขที่ MRG6080086



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการความแปรปรวนระยะสั้นของอัตราการนับรังสี
คอสมิกเมื่อเทียบกับละติจูด ลองจิจูด และเวลา

โดย อาจารย์ ดร. วราภรณ์ นันทียกุล

เมษายน 2562

(ทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่)

สัญญาเลขที่ MRG6080086

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการความแปรปรวนระยะสั้นของอัตราการนับรังสี
คอสมิกเมื่อเทียบกับละติจูด ลองจิจูด และเวลา

อาจารย์ ดร. วราภรณ์ นันทิกุล
ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและ
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.และ
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : MRG6080086

ชื่อโครงการ : ความแปรปรวนระยะสั้นของอัตราการนับรังสีคอสมิกเมื่อเทียบกับ ละติจูด
ลองจิจูดและเวลา

ชื่อนักวิจัย : อาจารย์ ดร. วราภรณ์ นันทียกุล สังกัดภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

E-mail Address : waraporn.n@cmu.ac.th และ w.nuntiyakul@gmail.com

ระยะเวลาโครงการ : 2 ปี (3 เมษายน 2560 – 2 เมษายน 2562)

เครื่องตรวจจับนิวตรอนมาตรฐาน (IGY หรือ NM64) เป็นเครื่องตรวจจับที่ทั่วโลกนำมาศึกษา
การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ของรังสีคอสมิกจากกาแล็กซีและอนุภาคพลังงานสูงจากดวงอาทิตย์ใน
หน่วยของจิกะอิเล็กตรอนโวลต์ การออกแบบให้เครื่องตรวจจับตอบสนองต่อนิวตรอนที่มี
พลังงานต่ำกว่า ~10 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ที่ผลิตจากรังสีคอสมิกทำปฏิกิริยากับตัวกลาง
อย่างไรก็ตามจำนวนนิวตรอนที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวมีความน่าสนใจในแง่ของการให้ข้อมูลเชิง
สเปกตรัมของรังสีคอสมิก ใช้ศึกษาความชื้นของดิน และใช้สำหรับการตรวจจับภัยคุกคามทาง
นิวเคลียร์ เครื่องตรวจจับนิวตรอนเปลือย (Bare) เป็นเครื่องตรวจจับนิวตรอนที่ไม่มีตะกั่วซึ่ง
สามารถใช้ตรวจจับนิวตรอนได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องตรวจจับนิวตรอนมาตรฐานแล้วถือว่า
ยังไม่ค่อยมีผลงานออกมาสำหรับใช้อธิบายว่าอัตราการนับขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแรงแรงตัด
อย่างไร งานวิจัยนี้เราวิเคราะห์ข้อมูลจาก Bare จำนวนสามหลอดที่ติดตั้งบนเรือพร้อมกันกับ
เครื่องตรวจจับ NM64 จากเดือนพฤศจิกายน ค.ศ. 1995 ถึงเดือนมีนาคม ค.ศ. 1996 ในช่วง
กว้างของละติจูดแม่เหล็ก ซึ่งเป็นนิยามของการสำรวจการตัดข้ามละติจูด Bare ถูกออกแบบให้
ใช้ฉนวนโพลียูรีเทนที่บรรจุโฟมด้านในเพื่อเก็บรักษาอุณหภูมิให้คงที่ และช่วยลดจำนวน
นิวตรอนที่มีพลังงานสูงในระดับปานกลางลง เมื่อเรืออยู่ใกล้พื้นดิน สัดส่วนของอัตราการนับ
Bare/NM64 จะสูงขึ้นอย่างมาก เราจึงพิจารณาข้อมูลเฉพาะเมื่อเรือเคลื่อนที่อยู่ในทะเล
สัมประสิทธิ์ของความผันแปรระหว่าง Bare และ NM64 ไม่แตกต่างกันมากนัก เราหาค่า
ฟังก์ชันการตอบสนองของ Bare เหล่านี้ ซึ่งให้นำหนักของรังสีคอสมิกจากกาแล็กซีที่มีพลังงาน
ต่ำกว่าเครื่องตรวจจับนิวตรอน NM64 การวัดฟังก์ชันการตอบสนองอาจจะพัฒนาการหาค่าดัชนี
สเปกตรัมของอนุภาคพลังงานสูงจากดวงอาทิตย์และรังสีคอสมิกจากกาแล็กซีจากการ
เปรียบเทียบอัตราการนับระหว่าง Bare/NM64

คำหลัก : เครื่องตรวจจับนิวตรอน, รังสีคอสมิกจากกาแล็กซี, อนุภาคพลังงานสูงจากดวง
อาทิตย์, ฟังก์ชันการตอบสนอง, ดัชนีสเปกตรัม

Abstract

Project Code : MRG6080086

Project Title : Short-term variations of cosmic ray count rates with latitude, longitude, and time

Investigator : Dr. Waraporn Nuntiyakul, Department of Physics and Materials of Science, Faculty of Science, Chiang Mai University

E-mail Address : waraporn.n@cmu.ac.th and w.nuntiyakul@gmail.com

Project Period : 2 ปี (3 April 2017 – 2 April 2019)

Neutron monitors of standard design (IGY or NM64) are employed worldwide to study variations in the flux of galactic cosmic rays and solar energetic particles in the GeV range. The design minimizes detector response to neutrons below ~ 10 MeV produced by cosmic ray interactions in the ambient medium. Increasingly, however, such neutrons are of interest as a means of obtaining spectral information on cosmic rays, for studies of soil moisture, and for nuclear threat detection. Bare neutron counters, a type of lead-free neutron monitor, can detect such neutrons, but comparatively little work has been done to characterize the dependence of their count rate on cutoff rigidity. We analyze data from three bare neutron counters operated on a ship together with a three-tube NM64 monitor from November 1995 to March 1996 over a wide range of magnetic latitude, that is, a latitude survey. The bare counter design used foamed-in-place polyurethane insulation to keep the temperature uniform and to some extent moderate high-energy neutrons. When the ship was near land, the bare/NM64 count rate ratio was dramatically higher. Considering only data from open sea, the bare and NM64 pressure coefficients are not significantly different. We determine the response function of these bare counters, which is weighted to Galactic cosmic rays of lower energy than the NM64. This measurement of the response function may improve determination of the spectral index of solar energetic particles and Galactic cosmic rays from a comparison of bare and NM64 count rates.

Keywords : neutron monitor, Galactic cosmic rays, Solar energetic particles, response function, spectral index

วัตถุประสงค์

เพื่อหาฟังก์ชันการตอบสนองของเครื่องตรวจวัดนิวตรอนเปลือยบนเรือที่เคลื่อนที่ตัดผ่านข้ามสนามแม่เหล็กโลกที่มี ละติจูดที่แตกต่างกัน โดยอัตราการนับที่ได้ต้องปรับแก้ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการนับของเครื่องมือวัด เช่น ความดัน เป็นต้น จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยก่อนหน้าเพื่อตีความทางฟิสิกส์

วิธีทดลอง

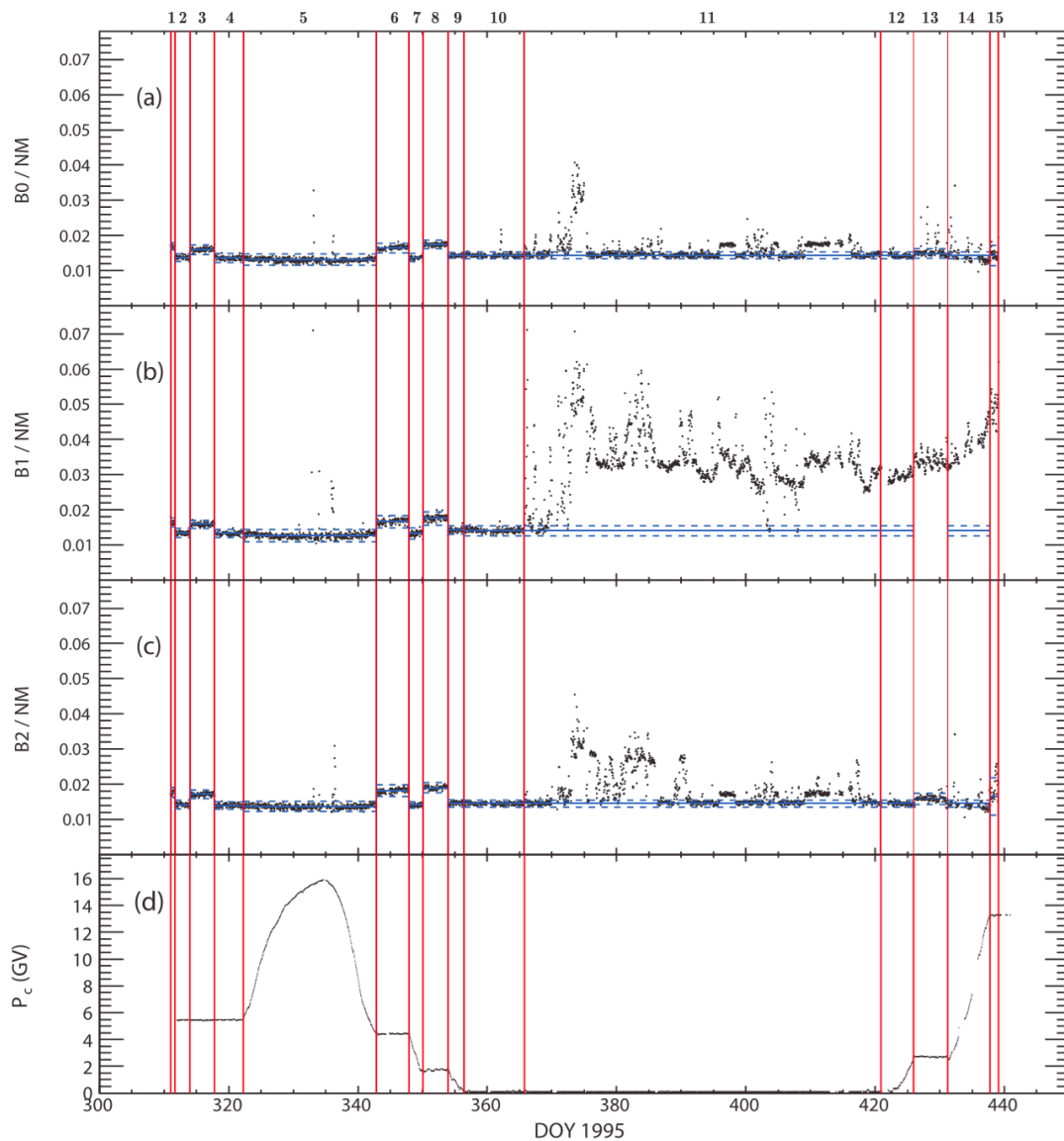
สำหรับระเบียบวิธีการทำการทดลอง มีขั้นตอนที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. สำหรับข้อมูลจากการสำรวจ นักวิจัยได้ใช้วิธีการฟิตแบบเกาส์เซียนของสัดส่วนระหว่างอัตราการนับของ bare จำนวน 3 หลอด ดังรูปที่ 1 กับอัตราการนับของเครื่องตรวจวัดมาตรฐาน 3NM64 ที่ติดตั้งไปด้วยกันบนเรือเพื่อคัดเลือกเฉพาะอัตราการนับที่ดี (good data) ของ bare ในแต่ละหลอด และคัดข้อมูลที่เสีย (bad data) ทิ้งไป หลังจากนั้นมีการชดเชยอัตราการนับที่ถูกตัดทิ้งจากหลอดที่ดีที่เหลืออยู่ ณ เวลาเดียวกันโดยใช้วิธีเดียวกับที่ระบุในเปเปอร์ที่เคยตีพิมพ์ก่อนหน้านี้ของหัวหน้าโครงการ (Nuntiyakul et al. 2014, ApJ, 795, 11)
2. นำข้อมูลที่ได้จากการทำความสะอาดในขั้นตอนที่ 1 มาปรับแก้ความดัน
3. นำข้อมูลที่ปรับแก้จากผลกระทบจากความดันไปใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์เพื่อคำนวณหา Differential Response Function (DRF) โดยใช้เทคนิคของ Dorman
4. นำ DRF จากข้อมูลของการสำรวจในปี ค.ศ. 1995 ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการสำรวจก่อนหน้าและเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ

ผลการทดลอง

ผลการทดลองตามลำดับขั้นของวิธีการทดลองในหัวข้อก่อนหน้า แสดงดังนี้

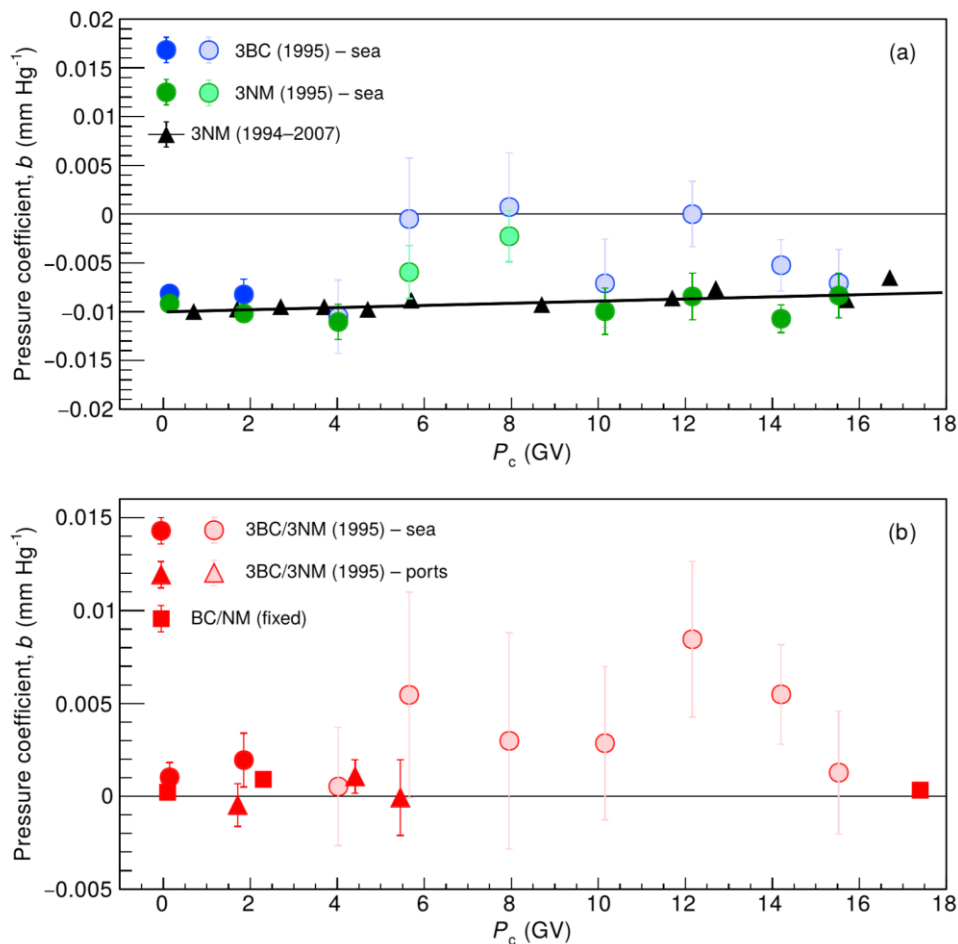
1. จากรูปที่ 1 ข้อมูลดิบ (แสดงจุดสีดำ ในรูป 1(a) – (c)) ที่ได้จากการบันทึกข้อมูลของเครื่องตรวจวัดนิวตรอนเปลือย (bare neutron monitors) จำนวน 3 หลอด (หลอดซ้าย: B0, หลอดกลาง: B1, และหลอดขวา: B2) ที่ติดตั้งภายในคอนเทนเนอร์ฉนวนชื่อ “แทสแวน” ซึ่งเดินทางจาก San Diego ประเทศสหรัฐอเมริกาไปยัง McMurdo ณ แอนตาร์กติกา ในปี ค.ศ. 1995 จากข้อมูลดิบของการสำรวจการตัดข้ามละติจูดจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าข้อมูลอัตราการนับที่ได้มีปัญหาในบางช่วงเวลา โดยข้อมูลเสียของทั้งสามหลอดจะปรากฏอย่างชัดเจนในช่วงเวลาที่ 11 ซึ่งข้อมูลที่บันทึกได้ขณะเรืออยู่แถว McMurdo ในการวิเคราะห์ข้อมูลนักวิจัยจะแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 15 ช่วง (ระบุตัวเลขด้านบนของกราฟ) โดยแบ่งตามสถานการณ์การเดินทางเรือตัดข้ามละติจูดต่าง ๆ และการจอดเรือใกล้หรือไกลจากท่าเรือ เราปรับแก้โดยพิจารณาค่ากลางของแต่ละช่วงกำหนดเป็นค่าอ้างอิงของ B0/NM, B1/NM, B2/NM ของแต่ละหลอด (แสดงด้วยเส้นสีน้ำเงินทึบ) เมื่อ NM เป็นอัตราการนับของเครื่องตรวจวัดนิวตรอนที่วางอยู่บนเรือตัดน้ำแข็งในทวีปเดียวกัน และเรากำหนดว่าหากสัดส่วนมีค่านอกเหนือจาก $\pm 3\sigma$ ข้อมูลจะถูกลบทิ้งหรือปรับแก้ใหม่ แสดงภาพรวมดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ข้อมูลรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเวลาที่ได้จากการสำรวจในปี ค.ศ. 1995 (a)-(c) เป็นสัดส่วนระหว่างอัตราการณ์ของ bare/3NM64 และ (d) เป็นค่าความแข็งแกร่งตัดที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งเส้นสีน้ำเงินที่บ่งแสดงคือค่ากลางของแต่ละช่วงของข้อมูล ซึ่งข้อมูลแบ่งออกเป็น 15 ช่วงเวลาตามเงื่อนไขของการเดินเรือหรือการจอดเรือใกล้ท่าเรือ และเส้นประสีน้ำเงินแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนจากค่ากลาง $\pm 3\sigma$

- เมื่อเราได้ข้อมูลที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วในขั้นตอนที่ 1 ในขั้นตอนถัดไปเราพยายามที่จะปรับแก้ข้อมูลจากความดันในชั้นบรรยากาศ ซึ่งปกติการสำรวจจะมีบาร์อมิเตอร์เพื่อวัดความดันบนเรือ เราพยายามนำข้อมูลอัตราการณ์มาหาความสัมพันธ์กับความดันเพื่อหาโมเดลในทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาปรับแก้ข้อมูลจากความดัน จากการวิเคราะห์ข้อมูลทำให้เราทราบว่าสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับปรับแก้ความดันที่ปรากฏใน Nuntiyakul et al. 2014, ApJ, 795, 11 เป็นสมการที่ใช้ปรับแก้ที่ดีที่สุด เพราะจากเปเปอร์ดังกล่าวใช้ข้อมูลการสำรวจถึง 13 ปีการสำรวจ (ค.ศ. 1994-2007) แสดงด้วยสัญลักษณ์สีดำที่ถูกขีดเส้นด้วยเส้นทึบสีดำ ทำให้ได้ผลเชิงสถิติที่ดีกว่าจะใช้ข้อมูลแค่จากปีการสำรวจ ค.ศ. 1995 ใน

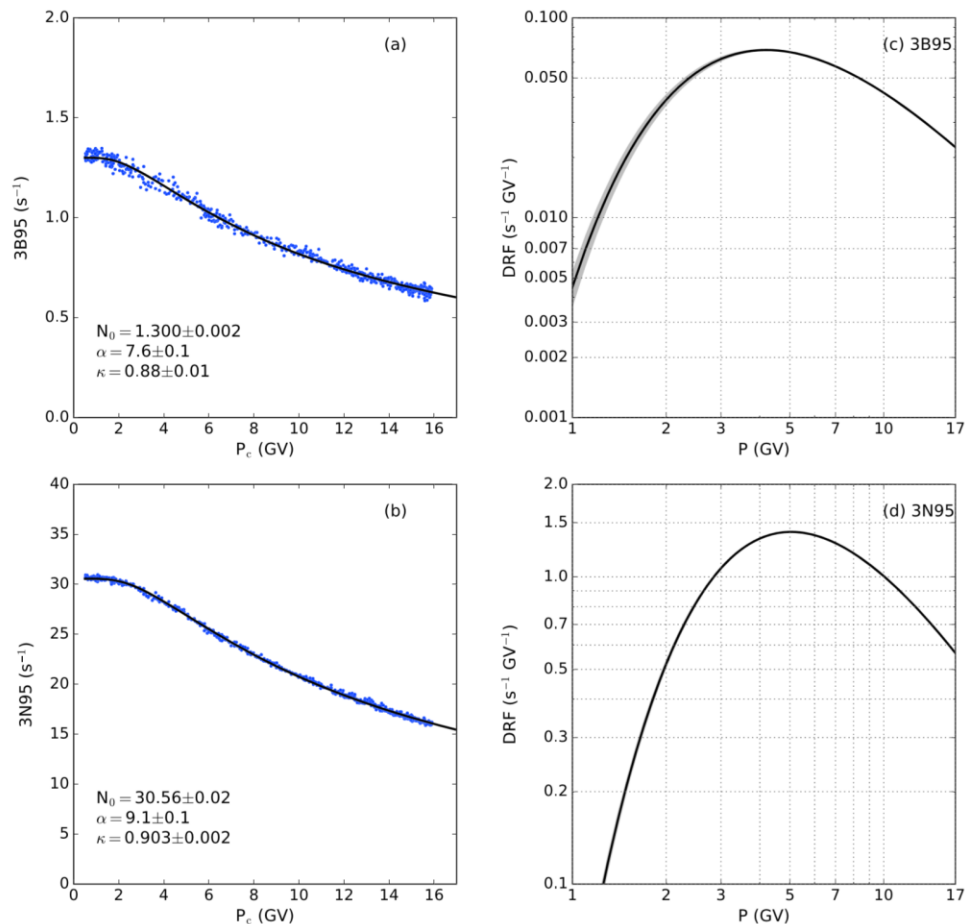
งานนี้เพียงปีการสำรวจเดียว ซึ่งจากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ของความดัน b ในหน่วยมิลลิเมตรของปรอทของข้อมูลจากเฉพาะ 1995 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับข้อมูลที่ได้จาก 13 ปีการสำรวจ



รูปที่ 2 สัมประสิทธิ์ของความดัน b ในหน่วยมิลลิเมตรของปรอทที่เป็นฟังก์ชันของค่าความเข้มแรงแดด (a) สัญลักษณ์สามเหลี่ยมทึบดำและเส้นทึบที่ติดกับข้อมูล: แสดงผลของข้อมูลการสำรวจของ 13 ปีจากผลงานตีพิมพ์ Nuntiyakul et al. 2014, ApJ, 795, 11 วงกลมสีเขียว: แสดงผลของเครื่องตรวจวัดนิวตรอนจำนวน 3 หลอด (3NM64) จากข้อมูลเฉพาะปีการสำรวจ ค.ศ. 1995 วงกลมสีน้ำเงิน: แสดงผลของเครื่องตรวจวัดนิวตรอนเปลือย (Bare Counter: BC) จำนวน 3 หลอด (3BC) จากข้อมูลเฉพาะปีการสำรวจ ค.ศ. 1995 (b) วงกลมสีแดง: แสดงผลของสัดส่วน 3BC/3NM64 เฉพาะปี ค.ศ. 1995 ขณะที่เรืออยู่ในทะเล สามเหลี่ยมสีแดง: แสดงผลของสัดส่วน 3BC/3NM64 เฉพาะปี ค.ศ. 1995 ขณะที่เรืออยู่ใกล้พื้นดิน สี่เหลี่ยมสีแดง: แสดงผลของสัดส่วน BC/NM ของสถานีตรวจวัดนิวตรอนที่ติดตั้งบนดิน โดยสี่พาสเทลระบุถึงค่าความแม่นยำที่มีค่าความผิดพลาดมาตรฐานของสัมประสิทธิ์ของความดัน b มากกว่า 0.0025 ต่อ มิลลิเมตรของปรอท

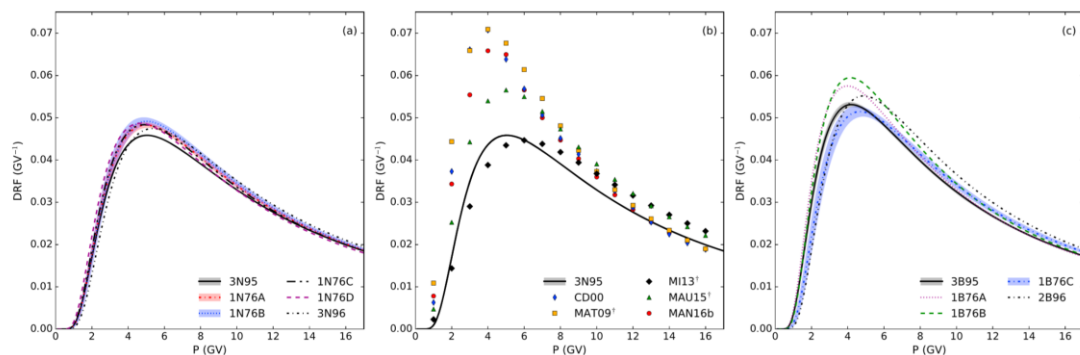
3. เมื่อข้อมูลปรับแก้ความดันเรียบร้อยแล้ว นักวิจัยจึงนำข้อมูลนั้นเพื่อมาหาค่าพารามิเตอร์ 3 ตัว ดังนี้ N_0 , α และ K ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งสามค่านี้สำคัญต่อฟังก์ชันของดอร์แมน (Dorman

function) เพื่อวิเคราะห์หาฟังก์ชันการตอบสนอง Differential Response Function (DRF) ต่อไป แสดงผลของ DRF ที่ได้จากการสำรวจตัดข้ามละติจูดตั้งรูปที่ 3



รูปที่ 3 การฟิตฟังก์ชันของดอร์แมน (a) การฟิตของ 3BC และ (b) การฟิตของ 3NM64

3. จากรูปที่ 4 แสดงผลของการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยที่ได้จากการสำรวจการตัดข้ามละติจูดกับผลจากการทดลองอื่น ๆ และเทียบกับผลจากการคำนวณ



รูปที่ 4 (a) เปรียบเทียบฟังก์ชันการตอบสนองของเครื่องยนต์จรวดนิวตรอนที่ได้จากการสำรวจตัดข้ามละติจูดในปี ค.ศ. 1995 กับผลการทดลองอื่น ๆ (b) เปรียบเทียบฟังก์ชันการตอบสนองที่ได้จากการคำนวณจากงานวิจัยอื่นกับผลที่ได้จากการสำรวจในปี ค.ศ. 1995 (c) เปรียบเทียบฟังก์ชันการตอบสนองของเครื่องยนต์จรวดนิวตรอนเปลี่ยนที่ได้จากการสำรวจในปี ค.ศ. 1995 เทียบกับการสำรวจในปีอื่น ๆ

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการสำรวจตัดข้ามละติจูดของทั้งเครื่องตรวจวัดนิวตรอนมาตรฐาน (NM64) และเครื่องตรวจวัดนิวตรอนเปลือย (บางครั้งเรียกว่า “Bare”) ที่ติดตั้งในคอนเทนเนอร์ฉนวนวางบนเรือตัดน้ำแข็ง U.S. Coast Guard Icebreaker Polar Star ตั้งแต่วันที่ 6 พฤศจิกายน ค.ศ. 1995 ถึงวันที่ 20 มีนาคม ค.ศ. 1996 ซึ่ง Bare ต่างกับ NM64 ตรงที่ไม่มีตะกั่วที่คอยทำหน้าที่ผลิตเพิ่มสัญญาณนิวตรอนเหมือนกับ NM64 มีความไวต่อสิ่งแวดล้อมและบริเวณโดยรอบมากกว่า NM64 ในงานวิจัยนี้เราพยายามใช้สถิติเพื่อทำความสะอาดข้อมูล (clean data) และปรับแก้ข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ จากนั้นหาสเปกตรัมของรังสีคอสมิกจากกาแล็กซี และนำผลวิจัยของเรามาเปรียบเทียบกับผลจากการทดลองและผลจากการคำนวณในเปเปอร์ของกลุ่มวิจัยอื่น ซึ่งทำให้เข้าใจผลกระทบของวัฏจักรของดวงอาทิตย์ในปี ค.ศ. 1995 มากขึ้น และเข้าใจถึงผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ จากข้อมูลที่ได้ของเครื่องตรวจวัดนิวตรอนทั้งสองแบบมากขึ้น นักวิจัยวางแผนที่จะทำการสำรวจตัดข้ามละติจูดทุกปีเพื่อศึกษาวัฏจักรของดวงอาทิตย์ที่มีผลกระทบต่อโลกอย่างต่อเนื่องเพื่อเราจะได้มีความเข้าใจและสามารถทำนายสภาพอวกาศที่อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ (climate) และ/หรือสภาพอากาศ (weather) ของโลก ความรู้ที่ได้ดังกล่าวทำให้นักวิจัยได้รับแรงบันดาลใจในการสร้างอุปกรณ์ที่เป็นของคนไทยสำหรับการทดลองอย่างต่อเนื่องไปยังทวีปแอนตาร์กติกาและแถบอาร์กติกเป็นประจำทุกปี ซึ่งนักวิจัยประสบความสำเร็จแล้วเป็นครั้งแรกในการส่งอุปกรณ์ไทยชื่อ “ช้างแวน” ซึ่งมีลักษณะเป็นคอนเทนเนอร์ฉนวนที่ภายในติดตั้งเครื่องตรวจวัดนิวตรอน NM64 ขนาบซ้ายและขวา และหลอดกลางเป็น bare (ไม่มีตะกั่ว) ไปแอนตาร์กติกาผ่านความร่วมมือกับสถาบันข่าวโลกแห่งจีน ในวันที่ 2 พฤศจิกายน 2561 จนถึงประมาณกลางเดือนมีนาคม 2562

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

พัฒนาอุปกรณ์ช้างแวนให้มีประสิทธิภาพและฉลาดมากขึ้น โดยนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้เพื่อสะดวกต่อการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล real time จากนั้นพยายามสร้างเครือข่ายความร่วมมือกับต่างประเทศที่มีเรือตัดน้ำแข็งเพื่อการค้าหรือเพื่อการวิจัยที่เดินทางไปแถบขั้วโลกเป็นประจำทุกปี เนื่องจากว่างานวิจัยการสำรวจการตัดข้ามละติจูดควรต้องทำการทดลองในทุก ๆ ปี เพราะเราต้องการศึกษาผลกระทบจากดวงอาทิตย์ต่อโลก ซึ่งเราทราบว่าดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุดมืดตลอดเวลา อีกทั้งงานวิจัยนี้จะทำให้เราเข้าใจเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กโลกมากยิ่งขึ้นอีกด้วย เราทราบว่าดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุดมืด (Solar modulation) เป็นวัฏจักรทุก 11 ปี โดยเฉลี่ย ดังนั้นเราจึงวางแผนต้องการทำการสำรวจทุกปีอย่างน้อย 11 ปี เพื่อศึกษาวัฏจักรของดวงอาทิตย์ (Solar cycle) หรือหากเป็นไปได้อาจจะทำระยะยาวกว่านั้นจนกระทั่งถึง 22 ปี เพื่อศึกษาวัฏจักรของการกลับขั้วของสนามแม่เหล็กของดวงอาทิตย์ (Solar magnetic polarity reversal)

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ (ระบุชื่อผู้แต่ง ชื่อเรื่อง ชื่อวารสาร ปี เล่มที่ เลขที่ และหน้า) หรือผลงานตามที่คาดไว้ในสัญญาโครงการ
 - 1.1 **W. Nuntiyakul, A. Sáiz*, D. Ruffolo, P.-S. Mangeard, P. Evenson, J. W. Bieber, J. Clem, R. Pyle, M. L. Duldig, and J. E. Humble** 2018, Bare Neutron Counter and Neutron Monitor Response to Cosmic Rays during a 1995 Latitude Survey, *J. Geophys. Res. Space Phys.*, 123, 7181 (2017 Impact Factor: 2.752) [เอกสารอ้างอิง: Output 1]
2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงวิชาการ ดังนี้
 - 2.1 นำไปแทรกไว้ในการเรียนการสอนจำนวน 4 กระบวนวิชา ของปีการศึกษา 2561 ภาคเรียนที่ 1 และ 2 [เอกสารอ้างอิง: Output 2.1] ได้แก่
 - 2.1.1 รหัสกระบวนวิชา 226703 ชื่อวิชา Observational Astronomy
 - 2.1.2 รหัสกระบวนวิชา 226710 ชื่อวิชา Computational Astrophysics
 - 2.1.3 รหัสกระบวนวิชา 226711 ชื่อวิชา High-Energy Astrophysics
 - 2.1.4 รหัสกระบวนวิชา 226789 ชื่อวิชา Selected Topics in Astronomy and Astrophysics (Cosmic Rays)
 - 2.2 นำความรู้ไปสร้างอุปกรณ์สำหรับการทดลองในทวีปแอนตาร์กติกาและแถบอาร์กติก ลักษณะของอุปกรณ์เป็นคอนเทนเนอร์ฉนวนที่ภายในประกอบด้วยเครื่องตรวจจับนิวตรอนมาตรฐาน NM64 2 หลอด และตรงกลางเป็นเครื่องตรวจจับนิวตรอนเปลือย (Bare) จำนวน 1 หลอด รวมทั้งหมด 3 หลอด โดยตั้งชื่ออุปกรณ์ว่า “ซ้างแวน” ปัจจุบันอุปกรณ์ถูกนำออกไปทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลจริงในแอนตาร์กติกาแล้วในวันที่ 2 พฤศจิกายน 2561 และมีกำหนดการกลับถึงเชียงใหม่ประมาณกลางเดือนมีนาคม 2562 ซึ่งอาจารย์ ดร.วรภรณ์ นันทิกุล หัวหน้าโครงการ มีความร่วมมือกับสถาบัน Polar Research Institute of China (PRIC) สาธารณรัฐประชาชนจีน ในอนาคตวางแผนว่าจะสร้าง “ซ้างแวน 2” เพื่อเพิ่มเส้นทางการสำรวจไปยังแถบอาร์กติก และขยายความร่วมมือด้านงานวิจัยกับประเทศอื่น ๆ เพื่อพัฒนาขีดจำกัดศักยภาพในระดับสากล งานวิจัยนี้อยู่ภายใต้โครงการพระราชดำริของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ ซึ่งอาจารย์วรภรณ์ มอบถวายรายงานให้สมเด็จพระเจ้าน้องนางเธอ เจ้าฟ้าจุฬาภรณวลัยลักษณ์ อัครราชกุมารี เสด็จฯ ในวันที่ 16 ตุลาคม 2561 [เอกสารอ้างอิง: Output 2.2]

- 2.3 พัฒนาอิเล็กทรอนิกส์ของหัววัดนิวตรอนให้มี dead time ต่ำ ซึ่งขณะนี้อยู่ระหว่างทดสอบ prototype ที่ University of Delaware ประเทศสหรัฐอเมริกา [เอกสารอ้างอิง: Output 2.3]
- 2.4 ได้รับเชิญจาก Prof. James Madsen จาก University of Wisconsin-River Falls (UWRF) ประเทศสหรัฐอเมริกา ในช่วงฤดูร้อนอย่างต่อเนื่องเป็นประจำทุกปีเพื่อเป็นที่ปรึกษานักศึกษาอเมริกันที่ได้รับคัดเลือกให้เข้าร่วม summer workshop ทางด้านเครื่องตรวจจับนิวตรอน โดย UWRF สนใจเข้าร่วมเป็นหนึ่งในเครือข่ายความร่วมมือทางด้านงานวิจัยในการสร้างอุปกรณ์ช่วงแวนและผลักดันให้มีโครงการแลกเปลี่ยนระหว่างนักศึกษาไทยและนักศึกษาอเมริกันในการศึกษาวิจัยทางด้านรังสีคอสมิก [เอกสารอ้างอิง: Output 2.4]
- 2.5 ได้รับเชิญจาก Prof. Paul Evenson จาก University of Delaware (UD) ประเทศสหรัฐอเมริกา ในช่วงฤดูร้อนอย่างต่อเนื่องเป็นประจำทุกปีเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้เชิงวิจัย และวางแผนระยะยาวในอนาคตร่วมกันเพื่อต่อยอดงานวิจัยของเครื่องตรวจจับนิวตรอน เช่น การสำรวจการตัดข้ามละติจูด และการวางแผนให้กลุ่มวิจัยไทยเป็นผู้ดูแลสถานีเครื่องตรวจจับนิวตรอนหลักจำนวน 4 สถานี ในประเทศแคนาดา ซึ่งอยู่ในแถบอาร์กติก [เอกสารอ้างอิง: Output 2.5]
- 2.6 สร้างและพัฒนาเว็บไซต์ www.antarcticthai.com (ภาษาอังกฤษ) และ Facebook page: Astronomy and Astrophysics Antarctic Research in Thailand (ภาษาไทย)
3. อื่นๆ (เช่น ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ การเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ หนังสือ การจดสิทธิบัตร)
- 3.1 **W. Nuntiyakul**, Analysis of Data from the 2009-10 Ship-Borne Bare Neutron Counter Latitude Survey (4th SCAR Astronomy and Astrophysics from Antarctica Meeting, Chiang Mai, August, 2017) [เอกสารอ้างอิง: Output 3.1]
- 3.2 **W. Nuntiyakul**, J. Bieber, J. Clem, P. Evenson, T. Gaisser, A. Hallgren, J. Madsen, P.-S. Mangeard, R. Pyle, D. Ruffolo, A. Sáiz, S. Seunarine, S. Tilav, Solar Energetic Particle Spectra using Neutron Detectors at South Pole (POLAR 2018 Conference, Davos, Switzerland, June, 2018) [เอกสารอ้างอิง: Output 3.2]
- 3.3 **W. Nuntiyakul**, Response Functions of Neutron Counters to Cosmic Rays from Latitude Survey Technique (Oral presentation, Asian Forum for Polar Sciences, Xiamen, China, October, 2018) [เอกสารอ้างอิง: Output 3.3]

- 3.4 **W. Nuntiyakul**, โครงการการสำรวจการตัดข้ามละติจูด (Oral presentation, การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 44 (วทท), บางนา, ประเทศไทย, ตุลาคม, 2018) [เอกสารอ้างอิง: Output 3.4]

ภาคผนวก

แสดงหลักฐานต่าง ๆ ตามลำดับของ Output จาก
โครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว. ที่ระบุตามลำดับใน
เอกสารแนบหมายเลข 3

OUTPUT 1

ผลงานดีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ

RESEARCH ARTICLE

10.1029/2017JA025135

Key Points:

- Bare neutron counters and NM64 monitors operated on a ship over a wide range of magnetic latitudes
- Measured bare counter and NM64 response functions are weighted to different Galactic cosmic ray energies
- Bare counter to NM64 count rate ratio relates to spectrum of cosmic rays or solar particles

Supporting Information:

- Supporting Information S1

Correspondence to:

A. Sáiz,
alejandro.sai@mahidol.ac.th

Citation:

Nuntiyakul, W., Sáiz, A., Ruffolo, D., Mangeard, P.-S., Evenson, P., Bieber, J. W., et al. (2018). Bare neutron counter and neutron monitor response to cosmic rays during a 1995 latitude survey. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123. <https://doi.org/10.1029/2017JA025135>

Received 18 DEC 2017

Accepted 10 AUG 2018

Accepted article online 20 AUG 2018

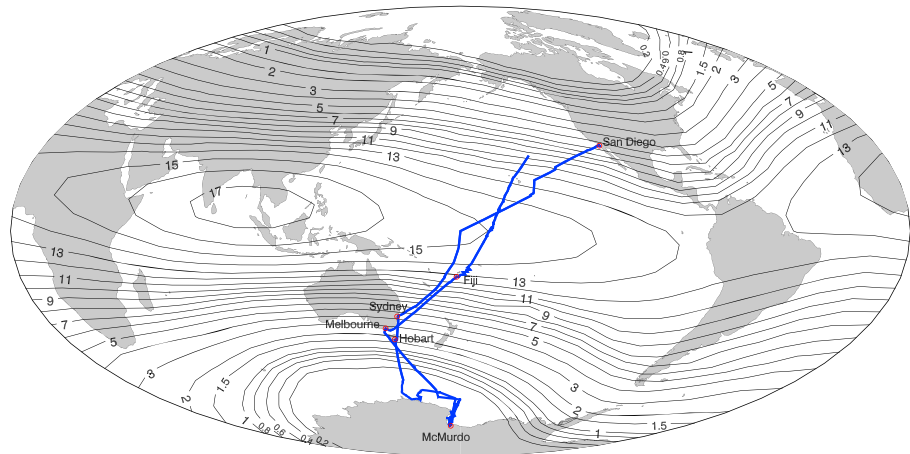
Bare Neutron Counter and Neutron Monitor Response to Cosmic Rays During a 1995 Latitude Survey

W. Nuntiyakul^{1,2}, A. Sáiz^{2,3}, D. Ruffolo^{2,3}, P.-S. Mangeard^{4,5}, P. Evenson⁵, J. W. Bieber⁵, J. Clem⁵, R. Pyle⁶, M. L. Duldig⁷, and J. E. Humble⁷
¹Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand, ²Thailand Center of Excellence in Physics, CHE, Ministry of Education, Bangkok, Thailand, ³Department of Physics, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok, Thailand, ⁴National Astronomical Research Institute of Thailand (NARIT), Chiang Mai, Thailand, ⁵Bartol Research Institute, Department of Physics and Astronomy, University of Delaware, Newark, DE, USA, ⁶Pyle Consulting Group, Inc., St. Charles, IL, USA, ⁷School of Natural Sciences, University of Tasmania, Hobart, Tasmania, Australia

Abstract Neutron monitors of standard design (IGY or NM64) are employed worldwide to study variations in the flux of galactic cosmic rays and solar energetic particles in the GeV range. The design minimizes detector response to neutrons below ~ 10 MeV produced by cosmic ray interactions in the ambient medium. Increasingly, however, such neutrons are of interest as a means of obtaining spectral information on cosmic rays, for studies of soil moisture, and for nuclear threat detection. Bare neutron counters, a type of lead-free neutron monitor, can detect such neutrons, but comparatively little work has been done to characterize the dependence of their count rate on cutoff rigidity. We analyze data from three bare neutron counters operated on a ship together with a three-tube NM64 monitor from November 1995 to March 1996 over a wide range of magnetic latitude, that is, a latitude survey. The bare counter design used foamed-in-place polyurethane insulation to keep the temperature uniform and to some extent moderate high-energy neutrons. When the ship was near land, the bare/NM64 count rate ratio was dramatically higher. Considering only data from open sea, the bare and NM64 pressure coefficients are not significantly different. We determine the response function of these bare counters, which is weighted to Galactic cosmic rays of lower energy than the NM64. This measurement of the response function may improve determination of the spectral index of solar energetic particles and Galactic cosmic rays from a comparison of bare and NM64 count rates.

1. Introduction

Neutron monitors are ground-level detectors of cosmic-ray-induced atmospheric secondary particles that respond mostly to secondary neutrons (Simpson, 1948). Neutron monitors of the standard IGY and NM64 designs are optimized so that their count rates provide a precise and reliable measurement of the GeV-range cosmic-ray flux (Hatton & Carmichael, 1964). In particular, a neutron monitor at a given location is most sensitive to cosmic rays within a range in rigidity (momentum per charge, expressed in GV) somewhat above the local geomagnetic cutoff, which varies from near 0 GV at Earth's polar regions to ~ 17 GV at some parts of the geomagnetic equator, and above the atmospheric cutoff of $\gtrsim 1$ GV needed to generate atmospheric secondary particles that can be recorded at ground level (see the response functions determined by Nuntiyakul et al., 2014). A standard neutron monitor includes a *producer*, typically ~ 5 – 30 tons of lead, in which atmospheric secondary particles of ≥ 10 MeV have a high probability of interacting to produce multiple MeV-range neutrons that can be detected in gas-filled proportional counters containing ^{10}B or ^3He . A standard neutron monitor is also surrounded by a *reflector* comprising several centimeters of paraffin or polyethylene, which aims to contain the neutrons produced in the lead as well as minimize the detector response to secondary neutrons of ≤ 10 MeV, which are mainly produced by cosmic ray interactions in surrounding materials at ground level and thus are sensitive to changes in the local environment. Also important is the *moderator*, consisting typically of a thinner layer of the same material as the reflector placed between the lead producer and each gas-filled counter, which helps slow down the neutrons in order to be detected efficiently. Standard neutron monitors are operated at more than 40 locations worldwide, taking advantage of the varying geomagnetic cutoff, and are widely used to monitor Earth's radiation environment due to relativistic solar energetic



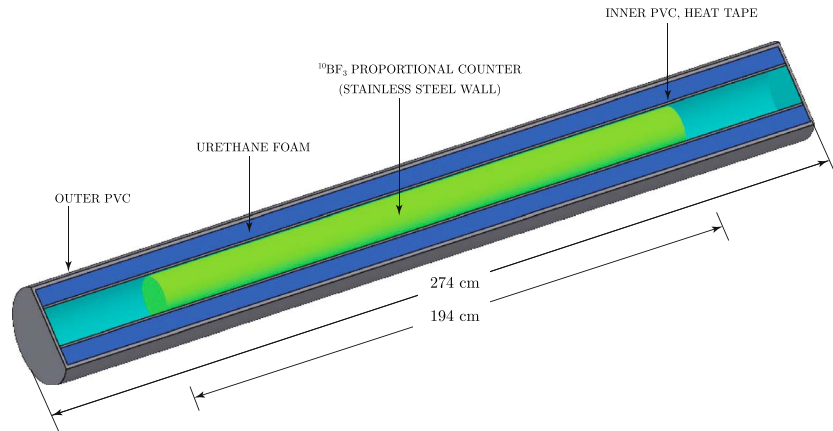


Figure 2. Rendered sketch of the “bare” neutron counter configuration used in this work. Each BP-28 neutron-sensitive proportional counter was operated inside a 20-cm-diameter PVC pipe covered with heat tape and thermally insulated by foamed-in-place polyurethane inside a larger, 30 cm diameter PVC pipe. Three such bare counters and a three-counter neutron monitor were operated along the survey route shown in Figure 1.

interactions with the solar wind and magnetic fields in interplanetary space. (Here we neglect the cosmic ray anisotropy, which is usually $\lesssim 1\%$.) The yield function Y_i for primary particles of type i , a function of rigidity (P) and atmospheric depth (h), is the actual relationship between the cosmic ray flux at the top of atmosphere and the observed count rate from the detectors. The transmission function T_i describes the transmission through the magnetosphere of the Earth. It is a function of particle rigidity (P), latitude (Θ) and longitude (Φ) of the detector location, and time (t).

At a given latitude and longitude, the effective cutoff rigidity for transmission through Earth’s magnetic field depends on the arrival direction of each primary cosmic ray described by the local zenith and azimuthal angles. However T_i can be approximated by a step function at a single cutoff rigidity P_c , that we call the *apparent cutoff rigidity*. With the assumption that the transmission is a step function, the count rate relation becomes

$$N(P_c, h, t) = \int_{P_c}^{\infty} \sum_i J_i(P, t) Y_i(P, h) dP. \quad (2)$$

The apparent cutoff used in this work considers both vertically incident particles and obliquely incident particles (Clem et al., 1997); this is calculated individually at 1-hr intervals at the actual position of the ship with a time-dependent model of the magnetic field according to an *efficient* method (Bieber et al., 1997). We use a particle propagation code from the Bartol Research Institute (Lin et al., 1995) together with an accurate model of the terrestrial magnetic field including any field disturbance present as indicated by the K_p index value at the time. K_p quantifies variations of the horizontal component of the magnetic field of the Earth as an integer in the range 0–9, that is, a lower number indicates quiet conditions and a higher number indicates a stronger geomagnetic storm (Thomsen, 2004).

The differential response function (DRF) is defined as the negative of the derivative of the count rate as a function of cutoff rigidity. The most common type of analysis for measuring a response function is the Dorman et al. (1969) analysis, in which corrections are first applied to the data points, then a parameterized function of apparent geomagnetic cutoff rigidity, termed a *Dorman function*, is fitted to the data:

$$N(P_c) = N_0 (1 - e^{-\alpha P_c^{-\kappa}}), \quad (3)$$

where N_0 , α , and κ are unphysical parameters that provide a good representation of the integral response function N , which can be analytically differentiated to determine the DRF:

$$N(P_c) = \int_{P_c}^{\infty} \text{DRF}(P) dP, \quad (4)$$

$$\text{DRF}(P) = N_0 \alpha P^{-\kappa-1} \kappa e^{-\alpha P^{-\kappa}}. \quad (5)$$

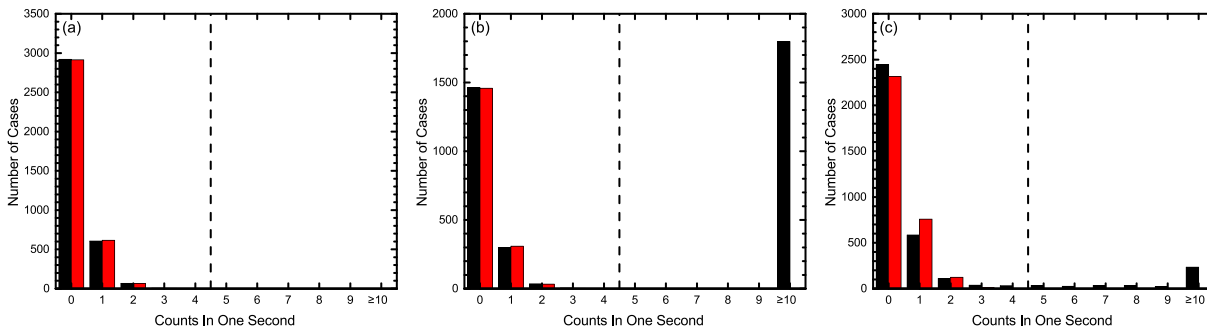


Figure 3. Examples of 1-s count distributions (black) and Poisson distributions based on the rates of 0–4 counts (red), each for 1 hr from one bare counter. (a) This measured distribution closely matches a Poisson distribution. (b) Here many seconds had multiple counts, but the distribution of 0–4 counts closely matches a Poisson distribution. (c) Ambiguous data. In all cases only the data to the left of the dashed line were used in further analysis.

From equations (2) and (4), we can express the DRF as the summed product of $J_i(P, t)$ and $Y_i(P, h)$:

$$\text{DRF}(P) = - \left[\frac{dN}{dP_c} \right]_P = \sum_i J_i(P, t) Y_i(P, h). \quad (6)$$

2.2. Instrumentation

The 1995 latitude survey employed two types of neutron detectors, three bare neutron detectors and a 3NM64 neutron monitor. The three BCs were installed exposed on an upper deck of the ship, whereas the 3NM64 was installed in an insulated shipping container (called the “TasVan”). Nuntiyakul et al. (2014) provide a detailed description of the TasVan and the series of latitude surveys. In summary, the detectors are Chalk River BP-28 proportional counter cylinders filled with boron trifluoride gas (enriched in the isotope ^{10}B). The boron nuclei react with neutrons and undergo nuclear fission. The reaction products (^4He and ^7Li) ionize the gas and eventually produce electrical pulses on a central anode wire maintained at ground, while a cylindrical outer cathode is at a potential of about $-2,800\text{ V}$.

Unlike for an NM64, there is no standard design for a bare neutron counter. The detectors discussed in the present work were prototypes for a system that was intended for outdoor deployment at the South Pole. The design used 2-lb density ($2\text{ lb/ft}^3 \sim 32\text{ kg/m}^3$) foamed-in-place polyurethane insulation for thermal control between an inner, 8" thin-wall PVC pipe (outer diameter 219 mm, thickness 4.75 mm) and an outer, 12" schedule-40 PVC pipe (outer diameter 324 mm, thickness 10.3 mm), which also served as a moderator for high-energy secondary neutrons. The standard polyethylene moderator on a BP-28 was not used. A rendered drawing of the detector is shown in Figure 2.

3. Data Reduction

3.1. Overview

Throughout this work all the dates during the survey will be referred to as “day of the year of 1995” (DOY1995). The 12th generation International Geomagnetic Reference Field (IGRF12) and the 1989 revision of the Tsyganenko (1987) model were used for calculating the cutoff rigidity. Numerical results for the 3NM64 in the present work differ slightly from those presented by Nuntiyakul et al. (2014) for three main reasons: (1) data intervals were selected such that they had good data in both the BCs and the 3NM64 whereas the earlier study only considered the 3NM64; (2) no corrections for short term modulation based on the McMurdo count rate were applied in this work; and (3) no normalization of the data to the McMurdo count rate was performed in this work.

3.2. Initial Processing

The most serious problem encountered in the data was mutual interference of the instrument with communications equipment on the ship. This equipment was used only when at sea, so any attempt at debugging the problems during port calls was not possible. However, a relatively simple realization enabled the extraction of a useful data set. Our data were recorded with one second time resolution together with clinometer readings to allow for possible corrections due to the varying orientation of the ship in rough seas. Looking closely at the 1-s data, we found that the noise was often quite “bursty” with seemingly unaffected seconds interspersed with seconds recording hundreds of counts.

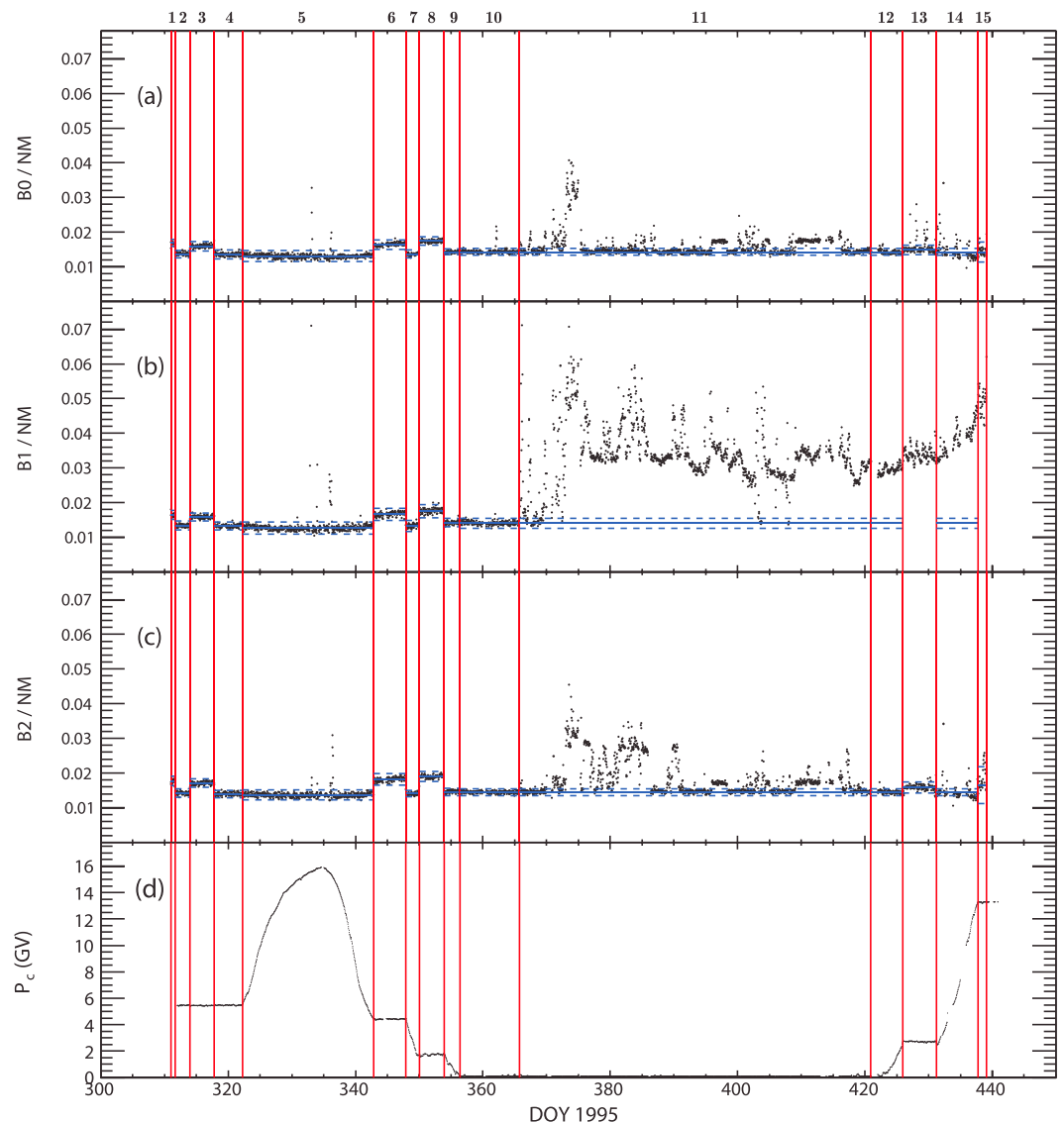


Figure 4. Summary of hourly averaged data as a function of time. (a)–(c) Ratios of individual bare detector count rates to 3NM64 count rate. Red vertical lines define 15 time periods used in the analysis. In each time period, the horizontal blue solid line shows the reference value $\langle B_i/NM \rangle$ and blue dashed lines illustrate the $\pm 3\sigma$ interval around the reference. (d) Apparent geomagnetic cutoff rigidity P_c .

We therefore made histograms of the 1-s readings for each tube for each hour of the survey, with typical examples shown in Figure 3. The observed distribution of counts is shown in black whereas the red shows the Poisson distribution expected based on the average rate over the first five channels. Figure 3a shows an hour with essentially no noise—typical of all of the time spent in port when the investigators had access to the equipment. In this case all of the individual measurements fall nicely on the distribution. Figure 3b shows a case where there is a clean Poisson component plus a clearly separated noise component. In Figure 3c the separation fails, for reasons that we have been unable to establish. We investigated automatically extracting data from noisy hours based on a quantitative test for deviations from a Poisson distribution in the first five channels but no clear method emerged. Instead, we prepared our basic data set with 1-hr resolution by taking averages over the first five channels (those left of the dashed lines) independent of the quality of fit to a Poisson distribution. We deferred rejecting bad hours to a later stage of analysis.

The data set thus obtained is plotted in Figure 4. In this figure we show hourly averages of BC count rates divided by NM count rates (where NM means the summed count rate of the three counters in the 3NM64), without any further correction. On this plotting scale the small variations in the ratios due to cutoff variation

Table 1
Reference BC to NM Count Rate Ratios

Period	Start DOY	Environment	$\langle B_0/NM \rangle \pm \sigma$	$\langle B_1/NM \rangle \pm \sigma$	$\langle B_2/NM \rangle \pm \sigma$
TP1	311.000	San Diego	0.0169 ± 0.0003	0.0165 ± 0.0004	0.0177 ± 0.0005
TP2	311.667	Naval maneuvers	0.0137 ± 0.0004	0.0134 ± 0.0004	0.0142 ± 0.0004
TP3	314.000	San Diego	0.0159 ± 0.0004	0.0159 ± 0.0004	0.0171 ± 0.0004
TP4	317.833	Naval maneuvers	0.0136 ± 0.0004	0.0133 ± 0.0004	0.0139 ± 0.0003
TP5	322.250	Open sea	0.0131 ± 0.0005	0.0127 ± 0.0006	0.0137 ± 0.0005
TP6	342.875	Sydney	0.0164 ± 0.0005	0.0166 ± 0.0006	0.0181 ± 0.0005
TP7	347.917	Open sea	0.0137 ± 0.0004	0.0133 ± 0.0005	0.0140 ± 0.0003
TP8	350.042	Hobart	0.0174 ± 0.0004	0.0176 ± 0.0006	0.0190 ± 0.0005
TP9	353.917	Open sea	0.0143 ± 0.0003	0.0143 ± 0.0004	0.0145 ± 0.0004
TP10	356.375	Open sea	0.0143 ± 0.0003	0.0141 ± 0.0005	0.0145 ± 0.0003
TP11 ^a	365.792	Mixed	0.0143 ± 0.0003	0.0141 ± 0.0005	0.0145 ± 0.0003
TP12 ^a	420.917	Open sea	0.0143 ± 0.0003	0.0141 ± 0.0005	0.0145 ± 0.0003
TP13	425.917	Melbourne	0.0149 ± 0.0004	—	0.0158 ± 0.0006
TP14 ^a	431.208	Open sea	0.0143 ± 0.0003	0.0141 ± 0.0005	0.0145 ± 0.0003
TP15	437.792	Fiji	0.0142 ± 0.0010	—	0.0166 ± 0.0018

^aUsing reference values measured for TP10.

are not readily visible. We term the count rates of the three BCs as B_0 for the left BC, B_1 for the center BC, and B_2 for the right BC. The reference values are explained in the following section. The figure also shows the calculated apparent cutoff rigidity as a function of time.

The shown data set, which includes the correction for instrumental interference explained above, still contains many clear outliers with a count rate enhanced beyond 3σ above the reference value, especially for the center BC after DOY 370. For those outlier hours with high hourly average count rates, the counts-per-second distributions show no recognizable noise component or signatures of double pulsing, so we conjecture that some change in the surroundings may have caused the neutron flux to be enhanced (possibly materials stored in the space immediately under the detectors). In any case, only data within $\pm 3\sigma$ of the reference value are selected for further analysis, as specified below.

Table 2
Reference BC to BC Count Rate Ratios

Period	Start DOY	Status	$\langle B_0/B_1 \rangle \pm \sigma$	$\langle B_1/B_2 \rangle \pm \sigma$	$\langle B_2/B_0 \rangle \pm \sigma$
TP1	311.000	San Diego	1.015 ± 0.03	0.933 ± 0.04	1.053 ± 0.04
TP2	311.667	Naval maneuvers	1.032 ± 0.04	0.939 ± 0.03	1.033 ± 0.03
TP3	314.000	San Diego	1.001 ± 0.03	0.926 ± 0.03	1.075 ± 0.04
TP4	317.833	Naval maneuvers	1.028 ± 0.04	0.947 ± 0.03	1.030 ± 0.04
TP5	322.250	Open sea	1.034 ± 0.06	0.927 ± 0.05	1.045 ± 0.05
TP6	342.875	Sydney	0.987 ± 0.04	0.916 ± 0.03	1.106 ± 0.04
TP7	347.917	Open sea	1.027 ± 0.05	0.957 ± 0.04	1.026 ± 0.04
TP8	350.042	Hobart	0.991 ± 0.04	0.926 ± 0.04	1.090 ± 0.03
TP9	353.917	Open sea	1.008 ± 0.04	0.975 ± 0.03	1.018 ± 0.03
TP10	356.375	Open sea	1.018 ± 0.03	0.976 ± 0.04	1.013 ± 0.03
TP11 ^a	365.792	Mixed	1.018 ± 0.03	0.976 ± 0.04	1.013 ± 0.03
TP12 ^a	420.917	Open sea	1.018 ± 0.03	0.976 ± 0.04	1.013 ± 0.03
TP13	425.917	Melbourne	—	—	—
TP14 ^a	431.208	Open sea	1.018 ± 0.03	0.976 ± 0.04	1.013 ± 0.03
TP15	437.792	Fiji	—	—	—

^aUsing reference values measured for TP10.

Table 3

Pressure Coefficient of BC to NM Count Rate Ratios for Fixed Stations

Location	Epoch	Altitude (m)	P_c (GV)	b (10^{-4} mmHg $^{-1}$)	BC rate ^a (s $^{-1}$)	NM rate ^a (s $^{-1}$)	Ratio
Doi Inthanon	2007–2013	2560	17.4	3.30 ± 0.49	6.0	34.0	0.176
Newark	2015–2016	40	2.3	9.13 ± 0.06	2.7	12.0	0.225
McMurdo	2016	48	< 0.1	2.16 ± 0.09	3.2	16.7	0.192
South Pole, BF ₃	1990–2004	2820	< 0.1	4.10 ± 0.16	15.0	87.0	0.172
South Pole, ³ He	2005–2016	2820	< 0.1	2.94 ± 0.07	12.5	103.0	0.121

^a Average rates per tube.

3.3. Data Cleaning Based on Neutron Monitor Count Rate

The selection of usable data (*data cleaning*) and the adjustment of bad or missing individual counter data (*data correction*) are performed based on BC-to-NM ratios (B_i/NM) and BC-to-BC ratios (B_i/B_j).

We start by choosing appropriate time periods during the 1995 survey year for which data were taken in a relatively stable environment. The 15 time periods used (TP1 to TP15) are indicated in Tables 1 and 2, and shown in Figure 4. Data cleaning is then applied separately for each time period. This division into time intervals is based on the locations near which the ship passed, that is, San Diego, Sydney, Hobart, McMurdo, Melbourne, and Fiji, as well as on apparent step-like changes in the ratio values elsewhere.

For each time period we generated histograms of the hourly B_i/NM values to characterize and remove outliers. Figures 4a–4c illustrate the individual B_i/NM ratios as a function of time. The red vertical lines show the division in time periods. The blue solid horizontal lines illustrate the B_i/NM reference values $\langle B_0/\text{NM} \rangle$, $\langle B_1/\text{NM} \rangle$, and $\langle B_2/\text{NM} \rangle$. In most cases, these were defined as the mean of a Gaussian fit to the ratio histogram for each time period. For three time periods, namely TP11, TP12, and TP14, we used the reference calculated during TP10 because it was noticed that the noise was too high for the center BC (B_1). Using the TP10 ratio reference for those three problematic time periods, we avoided bias in the data that could induce further analysis errors. For the $\langle B_1/\text{NM} \rangle$ ratio reference, during TP13 and TP15 data were also noisy but no appropriate reference based on another time period with similar environment could be identified, so those intervals have no reference available. The blue horizontal dashed lines illustrate plus and minus three standard deviations from the reference for each time period, also based on the Gaussian fit. The $\langle B_i/\text{NM} \rangle$ ratio reference values and their standard deviations σ for the 15 time periods are also shown in Table 1. B_i/NM data points lying outside the range defined by 3 standard deviations (i.e., $\pm 3\sigma$) from the reference were considered to indicate bad data and the count rate B_i was then corrected (if possible) as explained in the next section or removed before subsequent analysis.

3.4. Data Correction Based on BC Ratios

The rough and changing conditions on board the ships caused the response of individual BCs to occasionally change, become noisy, or even stop completely. In order to correct for these effects during the surveys, we used the inherent redundancy of the three bare detectors.

The histograms of individual BC ratio values (B_0/B_1 , B_1/B_2 , and B_2/B_0) were plotted for each time period (except for periods with no appropriate reference for the B_i/NM ratio, as mentioned above). For TP1–TP10, reference values were calculated for these BC ratios based on a fit to a Gaussian, but for TP11, TP12, and TP14 we used the BC ratio reference of TP10 instead. For TP13 and TP15, the BC ratios were not used because the center tube had bad counts during the whole time period and there was no other appropriate reference.

The BC ratio references $\langle B_0/B_1 \rangle$, $\langle B_1/B_2 \rangle$, and $\langle B_2/B_0 \rangle$ and their standard deviations for the 15 time periods are shown in Table 2. We defined the range of three standard deviations ($\pm 3\sigma$) from the reference values $\langle B_i/B_j \rangle$ to select good data points (count rates B_i and B_j that needed no further correction) or identify count rates that needed to be corrected. The reference values for the BC ratios were then used to correct those count rates, using the same method as explained in Nuntiyakul et al. (2014). The count rates of the three bare tubes for each hour (B_1 , B_2 , and B_3) were corrected if the BC ratio data were outside the 3σ range and there was a valid BC ratio reference for calculating the missing data. We calculated a corrected count rate from the actual count rate of the properly operating detectors. If only one tube was ignored, we calculated the corrected count rate based on the measurement in the other two tubes and the ratio reference values. If two tubes were

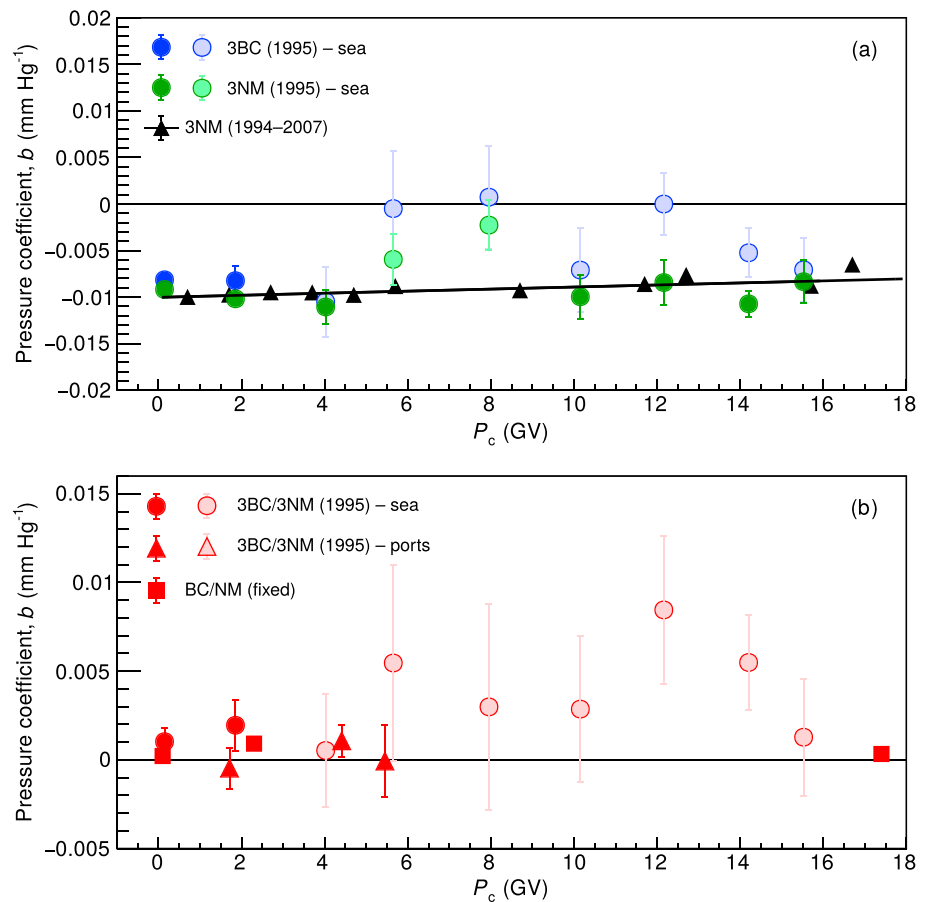


Figure 5. Pressure coefficient b (defined in text) as a function of apparent geomagnetic cutoff rigidity P_c . (a) Black triangles and heavy line: 3NM64 from 13 years of summed data (Nuntiyakul et al., 2014). Green circles: 3NM64 from 1995 data. Blue circles: three bare counters (3BC) from 1995 data. (b) Red circles: 3BC/3NM64 ratio in 1995, open sea. Red triangles: 3BC/3NM64 ratio in 1995, near land. Red squares: Fixed locations. Pastel shaded points are less accurate, with standard errors of b larger than 0.0025 mmHg^{-1} .

removed, we similarly used the remaining tube to determine the corrected count rates. If none of the tubes were operating properly, that hour was considered a data gap.

3.5. Barometric Pressure Correction

Although Stoker and Raubenheimer (1985) report that there is no difference between the barometric pressure correction coefficient for BCs and NM64, they have been measured to be different for the neutron monitor at Doi Inthanon, Thailand (Muangha, 2013). The first entry in Table 3 gives the result of that analysis. As the correction for variation in barometric pressure is critical to proper interpretation of the data, we carefully investigated this with the data from the 1995 survey.

We define a pressure coefficient (b) as the slope of a linear fit to the logarithm of counting rate as a function of barometric pressure. To control for short term variations, we extract this by calculating the deviation of the hourly average of each quantity from the overall average for that day.

We determined b separately for the 3NM64 and the BCs, with the data divided into bins of apparent cutoff rigidity. The width of each bin was determined by the number of data points available. Results of this analysis are shown in Figure 5a, along with the more statistically accurate determinations based on 13 years of data in Nuntiyakul et al. (2014). We also calculated pressure coefficients for the ratios of the summed count rate of the three BCs (3BC) to that of the 3NM64. Since there is no evidence for a major difference in coefficients from the survey data alone, in the present analysis we have corrected both 3BC and 3NM64 with the well-determined coefficient from the 13-year data set for the 3NM64.

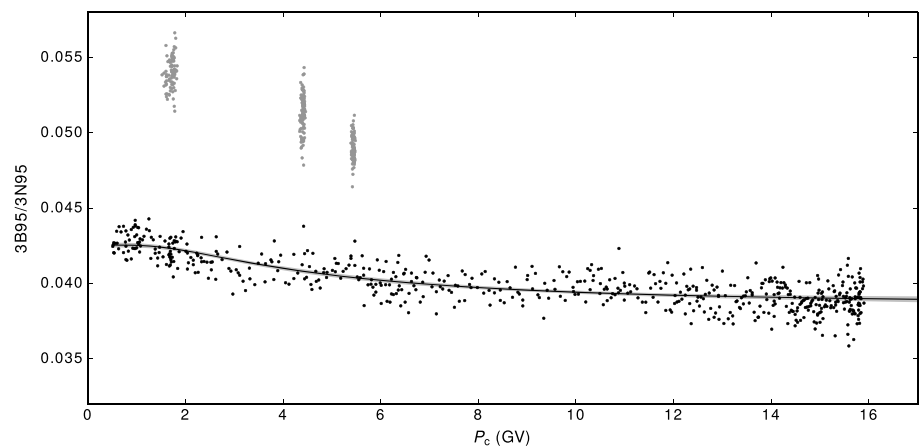


Figure 6. BC/NM ratio in 1995 as a function of apparent geomagnetic cutoff rigidity P_c . Black dots: ship in open sea. Gray dots: port calls at Hobart ($P_c = 1.71$ GV), Sydney ($P_c = 4.41$ GV), and San Diego ($P_c = 5.45$ GV). Line: ratio of Dorman functions shown in Figures 7a and 7b. Each dot represents a 1-hr data point.

We also extracted coefficients from historical data for two different land-based BC configurations and the 3×1 NM64 neutron monitor at South Pole and for BCs and an 18NM64 at Doi Inthanon, Thailand. In addition, we set up BCs at Newark, Delaware (three spare BP-28 counters) and McMurdo (one BP-28 removed from the NM64) to investigate this issue. Results are plotted in Figure 5b and given in detail in Table 3, along with various parameters characterizing the stations. Here b refers to the pressure coefficient of the ratio of the BC and NM64 count rates per tube, which corresponds to the difference in pressure coefficients of the two types of neutron detectors. All of the land-based installations show small positive coefficients. The value at Newark is significantly larger than those at South Pole, McMurdo, and Doi Inthanon. The building construction (masonry with slate roof) at Newark is different from the light construction at the other stations. In general, there is no specific pattern with altitude or cutoff; rather the data provide an additional caution regarding the environmental sensitivity of bare detectors. In other words, the observed pressure coefficient of the shipborne BC to NM64 count rate ratio is consistent with zero, given the uncertainties.

3.6. Temperature Correction

We investigated the need for a temperature correction. The BCs were in a different location from the three neutron monitors and neither had very good temperature control. We know from Evenson et al. (2005) that temperature correction coefficients are different for NM64s operated with $^{10}\text{BF}_3$ and ^3He detectors. Therefore we looked for temperature effects by searching for correlations of the measured ratios with differences in the measured tube temperatures. Within the statistical accuracy permitted by the data, we could not find any. Therefore we did not attempt a temperature correction for the present study.

3.7. Port Effects

The extreme sensitivity of bare detectors to the environment is clearly illustrated in Figure 6, which shows the ratio of the BC to NM count rate after all of the corrections discussed above have been applied. Substantial increases in the ratio occur whenever the ship is in port, as was also found by Villaresi et al. (2000). This can be explained by a higher density of albedo neutrons near solid ground compared with open water, and the fact that neutron detectors lacking a reflector (such as the BCs) are much more sensitive to these environmental neutrons than the standard NM64. We therefore classified the data carefully so as to be certain that the results we report are representative of the open ocean. Times “near port” were defined to be when the ship was close to port and “ocean” times were when the ship was away from land. This consideration was used when establishing the 15 time periods as shown in Figure 4 divided by red vertical lines. As noted above, the BC/NM ratio was high near ports but lower when the ship was at sea. For example, around San Diego ($P_c = 5.45$ GV, TP1 and TP3) the ship moved to near port twice, once at Sydney ($P_c = 4.41$ GV, TP6), and once at Hobart ($P_c = 1.71$ GV, TP8). Data from port calls near McMurdo (two steps in TP11), Melbourne (TP13), and Fiji (TP15) are not included in our analysis, according to the procedure described in section 3.4, because they had no ratio reference to clean the data.

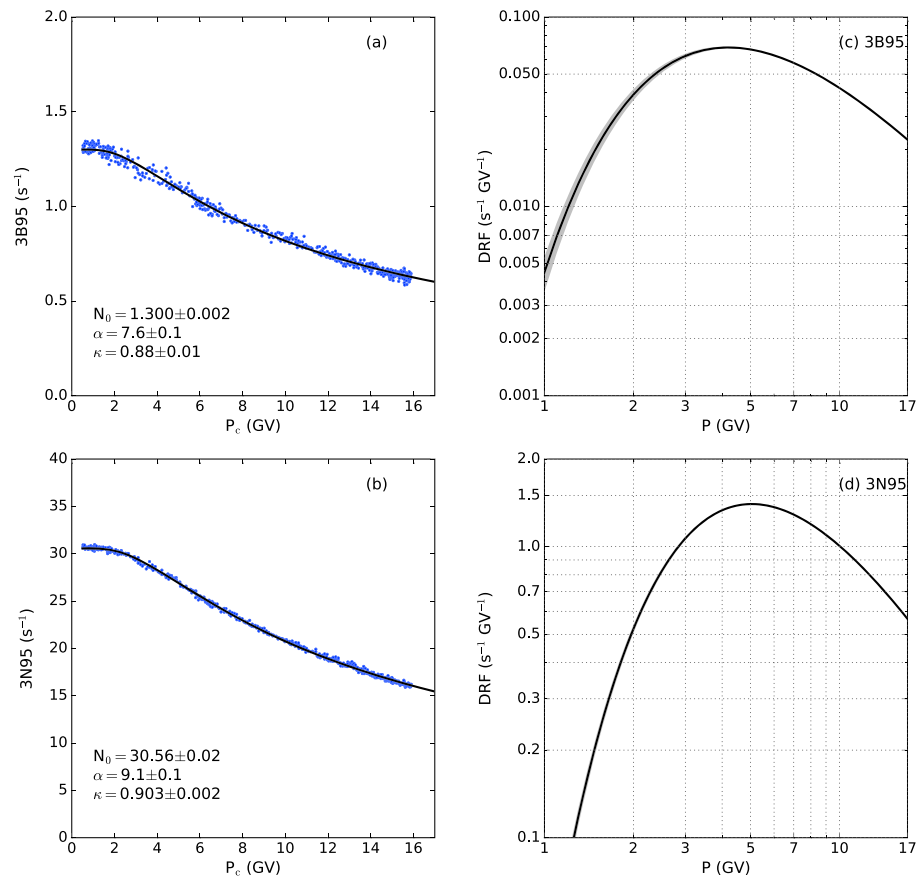


Figure 7. Dorman function fits to (a) bare and (b) neutron monitor data separately; (c) and (d) show the resulting differential response functions (DRFs).

4. Discussion

4.1. 1995 Survey

To quantify the dependence shown in Figure 6 we performed a fit to a Dorman function (Dorman et al., 1969) to the data for 3BC and 3NM64 separately. To do the fit we minimize the least squares function using the Levenburg-Marquardt algorithm and provide estimates for the statistical errors in the determination of the parameters from the scatter of the data points about the resulting fit. The results of the fits are shown in Figure 7. In this case, as in subsequent ones, we show the best fit as a solid line and the (two sigma) range of possible fits as a shaded area. In many cases the shaded area cannot be distinguished from the solid line. The parameters of these fits, along with other Dorman fit parameters discussed later, are summarized in Table 4. This Table also defines the nomenclature used in further discussions of these fits. The present analysis of the 3NM64 count rate from the 1995 survey differs from that of Nuntiyakul et al. (2014) for the same survey in that the present data are restricted to time periods with usable BC data, without correction for short-term cosmic ray variations and without a normalization factor of 1.015 to account for the 3NM64 location on the ship relative to other survey years.

DRFs, as well as the fit parameters, depend on the physical size of the detectors. To compare the inherent response of the 3BC and 3NM64, some normalization is necessary. Various normalizations are proposed in the literature, but for our purposes we adopt a rather simple one, namely, setting the parameter N_0 to one. This corresponds to normalizing the counting rate of a detector to 1.0 at zero cutoff. With this normalization we compare our DRF for the BCs to that for monitors in Figure 8. As expected, the response of the BCs is significantly greater than that of the monitors at low rigidity.

4.2. Comparison with 1976 and 1996 Surveys

Figure 9 compares our results with various interpretations of the data from the 1976 survey (Stoker et al., 1980) and the 1996 survey (Dorman et al., 2000). The 1995 and 1976 surveys were performed under remarkably sim-

Table 4
Dorman Function Fit Parameters

Configuration	Analysis	Survey year	Tag	N_0 (s^{-1}) ^a	α	κ
3NM64	This Work	1995	3N95	30.56(2)	9.1(1)	0.903(2)
3NM64	Nuntiyakul et al. (2014)	1995	—	30.9	9.05	0.899
3BC	This Work	1995	3B95	1.300(2)	7.6(1)	0.88(1)
1BC	Stoker (1985) (A)	1976	1B76A	157.68 ^b	7.32	0.898
1BC	Stoker (1985) (B)	1976	1B76B	157.68 ^b	7.85	0.940
1BC	This Work	1976	1B76C	197.9(9) ^b	8.7(3)	0.93(1)
1NM64-N1	This Work	1976	1N76A	189.6(5) ^b	9.2(2)	0.926(9)
1NM64-N2	This Work	1976	1N76B	192.0(7) ^b	9.4(3)	0.94(1)
1NM64-N1	Caballero-Lopez and Moraal (2012)	1976	1N76C	8.6806	8.953	0.916
1NM64-N1	Stoker (1985)	1976	1N76D	151.67 ^b	8.41	0.894
2BC	Dorman et al. (2000)	1996	2B96	—	9.694(37)	0.9954(38)
3NM64	Dorman et al. (2000)	1996	3N96	—	10.275(23)	0.9615(21)

^aFigure in parenthesis is the 1σ uncertainty on the last decimal. Uncertainties were not provided for the previously published values. ^bScaled units (not s^{-1}).

ilar solar modulation conditions. The solar modulation parameters calculated from Usoskin et al. (2017) were ~ 514 and ~ 518 MV, respectively, for the 1976 survey and 1995 survey. Averaged over the survey, the McMurdo neutron monitor count rates were within 2% of each other, and both surveys took place in epochs of positive solar magnetic polarity. Therefore, we compare the results directly, without any adjustment for changed modulation. Figure 9a illustrates leaded neutron monitor DRFs. (The 3NM64 DRF for 1995 from Nuntiyakul et al. (2014) is not shown here because it is indistinguishable from the one determined in this paper.) Two different designs of leaded monitors were used in 1976, denoted N1 and N2 in Table 4. We show four interpretations of the 1976 data. The first two result from applying our Dorman fit procedure to the summary data for N1 and N2 in Table 4 of Potgieter et al. (1980). We also show interpretations by Caballero-Lopez and Moraal (2012) and from the caption of Figure 1 of Stoker (1985). Because of various normalizations of the data the values of the parameter N_0 cannot be compared directly. The DRF for the 1996 survey uses the preferred Dorman functions from Dorman et al. (2000). We assume here that we can compare directly the DRF without solar modulation correction. Indeed, the 1996 survey was realized from December 1996 to March 1997 with an average solar modulation of 504 MV (calculated from updated parameters from Usoskin et al., 2017). This is very similar to the above-mentioned values for the 1976 and 1995 surveys.

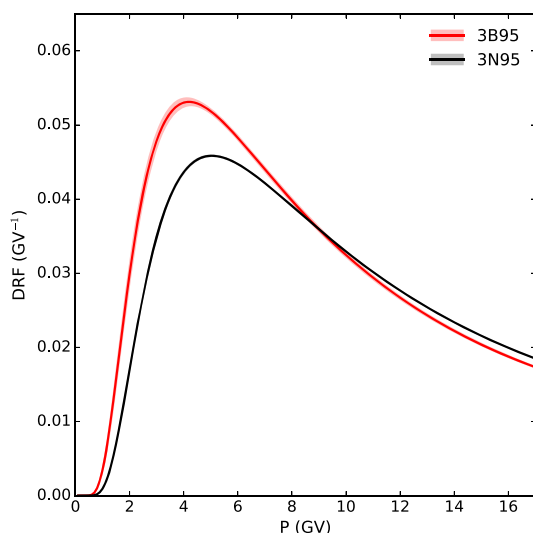


Figure 8. Comparison of the normalized differential response functions (bare neutron detectors and standard 3NM64) for the 1995 latitude survey.

The different interpretations of the 1976 NM64 data are all rather consistent, but all show a slightly higher response at low rigidity than the 1995 data. There is no evidence that this difference might be due to different primary spectra but it is possible that it represents a difference due to the use of 1NM64 detectors (of two slightly different designs) in the 1976 survey whereas the 1995 survey used a 3NM64. It is well known that the “outer” detectors in a multi-detector NM64 show a significantly lower count rate than the inner ones as they are, in effect, surrounded by less lead (Mangeard, Ruffolo, Sáiz & Madlee et al., 2016). In our survey, the average end-to-center ratio was 0.891. Based on a simple fit, it decreased by 0.002 from 0 to 16 GV cutoff, a result different from zero by slightly more than one standard deviation. We were able to reprocess simulations from a recent paper by Mangeard, Ruffolo, Sáiz and Nuntiyakul et al. (2016) to make a specific prediction of these quantities. The end-to-center ratio is reproduced to within 1%, with a predicted decline of 0.0032. We therefore think it is at least plausible that the 1NM64 may have slightly “softer” response function than a 3NM64. This is of interest to us in a practical sense, since the installation at South Pole is in fact three 1NM64 units, individually insulated and heated, but mounted on a common platform. We are currently running more detailed simulations to investigate the effect of this configuration at South Pole.

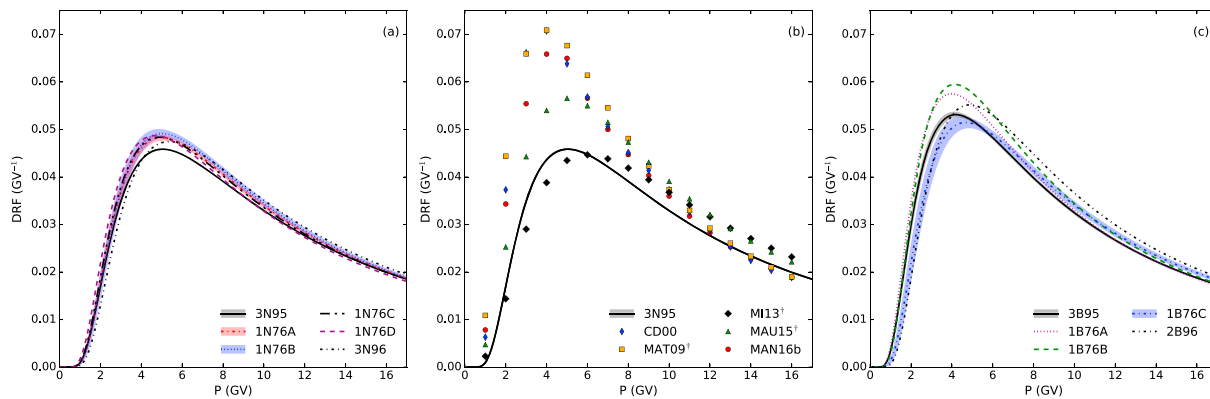


Figure 9. (a) Comparison of leaded neutron monitor response functions determined on latitude surveys. (b) Calculated response functions compared with the 1995 survey result. See text for details of this calculation. (c) Comparison of bare neutron detector response functions. Nomenclature for different surveys is defined in Table 4.

Figure 9b compares the observed normalized DRF of the 3NM64 of 1995 latitude survey with several calculations using recent computed models of “yield functions” (count rates as a function of rigidity and type of the primary particle at the top of the atmosphere). We used the model of Galactic cosmic ray spectra based on the local interstellar spectra (LIS) of proton and helium as proposed by Ghelfi et al. (2016), Ghelfi and Barao et al. (2017) and the force-field model of solar modulation from Gleeson and Axford (1968). For the period of the survey, the modulation parameter corresponding to this LIS was determined using the method presented in Ghelfi and Maurin et al. (2017) and was about 580 MV (the value was extracted from the database <http://lpsc.in2p3.fr/crdb>). Note that this is preferred for this purpose but it is different from the Usoskin et al. (2017) parameters used elsewhere in this paper. The nomenclature for the five simulated yield functions used in this work is as follows: CD00 from Clem and Dorman (2000), MAT09 from Matthiä et al. (2009), MI13 from Mishev et al. (2013), MAU15 from Maurin et al. (2015), and MAN16b from Mangeard, Ruffolo, Sáiz and Nuntiyakul et al. (2016). For MAT09 and MI13, the parametrizations of Maurin et al. (2015) were used (marked with a dagger in the Figure’s legend). The differences between simulations are clearly visible with an overall agreement within 50%. Below 10 GV, MI13 provides a better estimate of the normalized DRF than the other models.

Above 10 GV, the simulated results CD00, MAT09, and MAN16b provide a better estimate. More details about comparison between simulated yields can be found in Maurin et al. (2015) and Caballero-Lopez (2016).

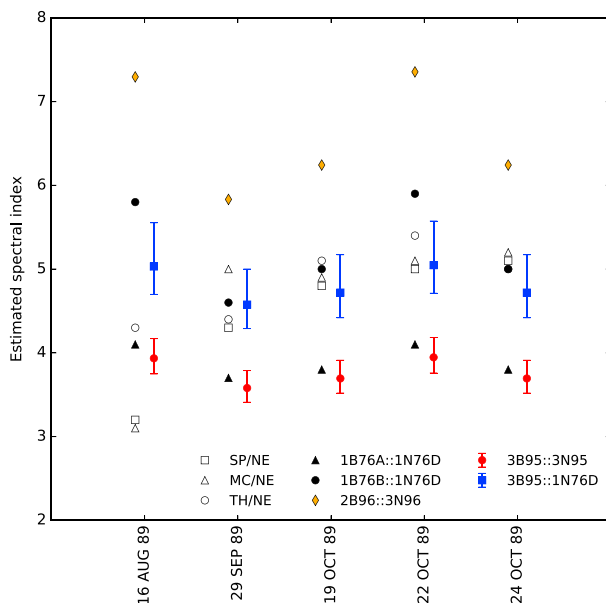


Figure 10. Comparison of estimated spectral indexes for GLEs of 1989. Black markers are taken unchanged from Bieber and Evenson (1991). Estimated spectral indices calculated in this article are shown in colored markers with error bars. Nomenclature for different surveys is defined in Table 4. More details are available in the text.

Figure 9(c) compares determinations of the BC response. Our result for 1995 agrees reasonably well with our analysis of the raw data for 1976 tabulated by Potgieter et al. (1980). What is rather surprising is the difference from the interpretation of Stoker (1985), where the “A” and “B” analyses were presented as an envelope of all possible fits to the data. At present, we have no specific comment on this apparent discrepancy. However as we have used the Stoker (1985) “B” results extensively in our previous work to use the BC/NM count rate ratio at South Pole to infer the spectral index of relativistic solar particles (Bieber & Evenson, 1991; Bieber et al., 2002, 2013; Sáiz et al., 2008), we have examined the extent to which this difference might influence our previous conclusions. Figure 10 is based on Figure 1 of Bieber and Evenson (1991), which compared spectral indices determined from NM64s at different P_c with the same events analyzed using the monitors and bare counters at South Pole alone. In this analysis, based on ratios of count rate increases, the implicit assumption is that the entire DRF scales with altitude with the same barometer coefficient—in other words, the entire altitude dependence may be expressed as a variation in N_0 .

In Figure 10 the black symbols are taken directly from Bieber and Evenson (1991), where the open symbols are derived from station ratios (SP: South Pole, MC: McMurdo, TH: Thule, and NE: Newark) and the closed symbols from BC/NM ratios. The conclusion of that paper was that the “Stoker B”

interpretation of the BC/NM ratio at South Pole provided a better consistency with fixed station ratios, which was supported by comparison with the results of Cramp et al. (1997) as reported by Ruffolo et al. (2006). Applying this approach to the present work results in the red points. Here the error bars are constructed from the extremes allowed by the one sigma errors on the Dorman parameters discussed earlier. The result is similar to the “Stoker A” analysis, but like that analysis is not consistent with the station ratio determination. On the other hand, keeping in mind that the South Pole installation is actually three 1NM64 units we also show the result (blue symbols) obtained with the 1995 bare survey and the 1976 1NM64 result. Here the agreement with the station ratios is as good as that obtained with the “Stoker B” analysis.

In Figures 9 and 10 we also show the results from applying the Dorman et al. (2000) response functions, which are significantly different, presumably because the bare detectors in that work had no moderators.

5. Conclusions

We report an analysis of data taken using three bare neutron counters with a novel design and a standard three-counter neutron monitor (3NM64) on board the U.S. Coast Guard icebreaker *Polar Star* from 6 November 1995 to 20 March 1996, over a route from San Diego, USA, to McMurdo Base, Antarctica, and back to the northern Pacific Ocean. This latitude survey sampled geomagnetic cutoffs over $0 < P_c < 15$ GV, allowing a determination of the BC and 3NM64 response functions over that range. Various techniques were used to clean and correct the data. The pressure correction coefficient as a function of P_c was previously determined for this ship-borne 3NM64 (using data from 13 latitude surveys over 1994–2007), and here we investigated whether the BC count rate requires a different pressure coefficient. We concluded that the statistics available for these BCs are insufficient to determine whether the pressure coefficients are different, and therefore we used the same coefficient. The temperatures of both detector systems were controlled to some extent and we did not find a significant temperature effect on the count rates. The BC response was strongly affected by proximity to any port along the route, and such time periods were excluded when determining the response functions.

The only directly comparable latitude survey with bare neutron counters (of a different design, but with moderators) was performed in 1976 (Potgieter et al., 1980; Stoker et al., 1980), a time when solar modulation conditions were very similar to those in 1995. The neutron monitor response functions were similar, with small differences that might be attributed to the use of different pressure coefficients or the different detector design (1NM64 in 1976 versus 3NM64 in 1995). We will further investigate this effect for interpretation of data from the South Pole NM, which actually consists of three independent 1NM64 units. The BC response function for 1995 is similar to what we derive from the raw data from 1976 using the same analysis techniques but is substantially outside the allowed range according to Stoker (1985). One of the extremes of that range has been successfully used to determine the spectral index of relativistic solar particles from BC and NM data at South Pole during ground level enhancements. When applied in simplest form the results from the present work do not directly give such good agreement.

It must however be noted that the counting rates for the typically steep solar particle spectra at the high altitude of South Pole are determined in large part by response functions (or more properly the underlying yield functions) in a rigidity range below the atmospheric cutoff at sea level. Thus, the use of data from sea level surveys in this range is an extrapolation.

As the spectrum gets steeper the sensitivity to the choice of fit parameters also increases. In Figure 10 the formal errors on the spectral index for the apparently better choice of the parameters (blue points) are much larger than the formal errors on the less favored choice of parameters (red points) that would imply a flatter spectrum. In fact, the interpretation of the “Stoker A” and “Stoker B” as defining the range of variation in the spectral index allowed by uncertainties in the measured response is essentially confirmed. The BC to monitor comparison indeed gives a rather precise measurement of the spectral index, and in particular the variation of the spectral index within a given event (Ruffolo et al., 2006), but the actual value of the spectral index cannot be determined from latitude survey data alone.

In work in progress, we will follow up on this issue by analyzing data from a third latitude survey with BCs (of yet another design, but now installed at South Pole) conducted in 2009. We are investigating these various aspects of the analysis with Monte Carlo simulations, also currently in progress.

Acknowledgments

This study is supported in part by the Thailand Research Fund via grant RTA5980003 and Research Grant for New Scholar MRG6080086; by the U.S. National Science Foundation via awards PLR-1341562, PLR-1245939, and their predecessors; and by the Australian Antarctic Division. We thank the officers and crew of the USCG icebreaker Polar Star for their assistance in conducting the survey. We also thank Leonard Shulman, James Roth, and Keith Bolton for their technical assistance in preparing and maintaining the TasVan. W. N. would like to thank the Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University, Bangkok, Thailand, for their support. The data displayed in the figures are available as supporting information.

References

- Bieber, J. W., Clem, J., & Evenson, P. (1997). Efficient computation of apparent cutoffs. In *Proceedings of the 25th International Cosmic Ray Conference*, 2 (pp. 389–392). Transvaal, South Africa: Potchefstroom University.
- Bieber, J. W., Clem, J., Evenson, P., Pyle, R., Sáiz, A., & Ruffolo, D. (2013). Giant ground level enhancement of relativistic solar protons on 2005 January 20. I. Spaceship Earth Observations. *Astrophysical Journal*, 771, 92. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/771/2/92>
- Bieber, J. W., Dröge, W., Evenson, P., Pyle, R., Ruffolo, D., Pinsook, U., et al. (2002). Energetic particle observations during the 2000 July 14 solar event. *Astrophysical Journal*, 567, 622–634. <https://doi.org/10.1086/338246>
- Bieber, J. W., & Evenson, P. (1991). Determination of energy spectra for the large solar particle events of 1989. In *Proceedings of the 22nd International Cosmic Ray Conference* (Vol. 3, pp. 129–132). Dublin, Ireland.
- Caballero-Lopez, R. A. (2016). An estimation of the yield and response functions for the mini neutron monitor. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 121, 7461–7469. <https://doi.org/10.1002/2016JA022690>
- Caballero-Lopez, R. A., & Moraal, H. (2012). Cosmic-ray yield and response functions in the atmosphere. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 117, A12103. <https://doi.org/10.1029/2012JA017794>
- Clem, J. M., Bieber, J. W., Evenson, P., Hall, D., Humble, J. E., & Duldig, M. (1997). Contribution of obliquely incident particles to neutron monitor counting rate. *Journal of Geophysical Research*, 102, 26,919–26,926. <https://doi.org/10.1029/97JA02366>
- Clem, J. M., & Dorman, L. I. (2000). Neutron monitor response functions. *Space Science Reviews*, 93, 335–359. <https://doi.org/10.1023/A:1026508915269>
- Cramp, J. L., Duldig, M. L., Flückiger, E. O., Humble, J. E., Shea, M. A., & Smart, D. F. (1997). The October 22, 1989, solar cosmic ray enhancement: An analysis of the anisotropy and spectral characteristics. *Journal of Geophysical Research*, 102, 24,237–24,248. <https://doi.org/10.1029/97JA01947>
- Dorman, L. I., Fedchenko, S. G., Granitsky, L. V., & Rishe, G. A. (1969). Coupling and barometer coefficients for measurements of cosmic ray variations at altitudes of 260–400 mb. In *Proceedings of the 11th International Conference on Cosmic Rays* (Vol. 2, pp. 233–236). Budapest.
- Dorman, L. I., Villorosi, G., Lucci, N., Parisi, M., Tyasto, M. I., Danilova, O. A., & Ptitsyna, N. G. (2000). Cosmic ray survey to Antarctica and coupling functions for neutron component near solar minimum (1996–1997): 3. Geomagnetic effects and coupling functions. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 105, 21,047–21,056. <https://doi.org/10.1029/2000JA900051>
- Evenson, P., Bieber, J. W., Clem, J., & Pyle, R. (2005). Neutron monitor temperature coefficients: Measurements for BF₃ and ³He counter tubes. In *Proceedings 29th International Cosmic Ray Conference* (Vol. 2, pp. 485–488). Pune, India.
- Ghelfi, A., Barao, F., Derome, L., & Maurin, D. (2016). Non-parametric determination of H and He interstellar fluxes from cosmic-ray data. *Astronomy and Astrophysics*, 591, A94. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201527852>
- Ghelfi, A., Barao, F., Derome, L., & Maurin, D. (2017). Non-parametric determination of H and He interstellar fluxes from cosmic-ray data (Corrigendum). *Astronomy and Astrophysics*, 605, C2. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201527852e>
- Ghelfi, A., Maurin, D., Cheminet, A., Derome, L., Hubert, G., & Melot, F. (2017). Neutron monitors and muon detectors for solar modulation studies: 2. ϕ time series. *Advances in Space Research*, 60, 833–847. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2016.06.027>
- Gleeson, L. J., & Axford, W. I. (1968). Solar modulation of galactic cosmic rays. *Astrophysical Journal*, 154, 1011–1026. <https://doi.org/10.1086/149822>
- Hatton, C. J., & Carmichael, H. (1964). Experimental investigation of the NM-64 neutron monitor. *Canadian Journal of Physics*, 42, 2443–2472. <https://doi.org/10.1139/p64-222>
- Kouzes, R. T., Siciliano, E. R., Ely, J. H., Keller, P. E., & McConn, R. J. (2008). Passive neutron detection for interdiction of nuclear material at borders. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 584, 383–400. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2007.10.026>
- Lin, Z., Bieber, J. W., & Evenson, P. (1995). Electron trajectories in a model magnetosphere: Simulation and observation under active conditions. *Journal of Geophysical Research*, 100, 23,543–23,549. <https://doi.org/10.1029/95JA02696>
- Mangeard, P.-S., Ruffolo, D., Sáiz, A., Madlee, S., & Nutaro, T. (2016). Monte Carlo simulation of the neutron monitor yield function. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 121, 7435–7448. <https://doi.org/10.1002/2016JA022638>
- Mangeard, P.-S., Ruffolo, D., Sáiz, A., Nuntiyakul, W., Bieber, J. W., Clem, J., et al. (2016). Dependence of the neutron monitor count rate and time delay distribution on the rigidity spectrum of primary cosmic rays. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 121, 11,620–11,636. <https://doi.org/10.1002/2016JA023515>
- Matthiä, D., Heber, B., Reitz, G., Meier, M., Sihver, L., Berger, T., & Herbst, K. (2009). Temporal and spatial evolution of the solar energetic particle event on 20 January 2005 and resulting radiation doses in aviation. *Journal of Geophysical Research*, 114, A08104. <https://doi.org/10.1029/2009JA014125>
- Maurin, D., Cheminet, A., Derome, L., Ghelfi, A., & Hubert, G. (2015). Neutron monitors and muon detectors for solar modulation studies: Interstellar flux, yield function, and assessment of critical parameters in count rate calculations. *Advances in Space Research*, 55, 363–389. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2014.06.021>
- Mishev, A. L., Usoskin, I. G., & Kovaltsov, G. A. (2013). Neutron monitor yield function: New improved computations. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 118, 2783–2788. <https://doi.org/10.1002/jgra.50325>
- Muangha, P. (2013). *Observation of Cosmic Ray Apectral Variation Using Bare Counters at Doi Inthanon with Princess Sirindhorn Neutron Monitor*, Unpublished Undergraduate Senior Project. Bangkok, Thailand: Mahidol University.
- Nuntiyakul, W., Evenson, P., Ruffolo, D., Sáiz, A., Bieber, J. W., Clem, J., et al. (2014). Latitude survey investigation of Galactic cosmic ray solar modulation during 1994–2007. *Astrophysical Journal*, 795, 11. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/795/1/11>
- Potgieter, M. S., Raubenheimer, B. C., Stoker, P. H., & van der Walt, A. J. (1980). Modulation of cosmic rays during solar minimum. Part 2. Cosmic ray latitude distribution at sea-level during 1976. *South African Journal of Physics*, 3(3–4), 77–89.
- Ruffolo, D., Sáiz, A., Mangeard, P.-S., Kamyan, N., Muangha, P., Nutaro, T., et al. (2016). Monitoring short-term cosmic-ray spectral variations using neutron monitor time-delay measurements. *Astrophysical Journal*, 817(38). <https://doi.org/10.3847/0004-637X/817/1/38>
- Ruffolo, D., Tooprakai, P., Rujiwarodom, M., Khumlumlert, T., Wechakama, M., Bieber, J. W., et al. (2006). Relativistic solar protons on 1989 October 22: Injection and transport along both legs of a closed interplanetary magnetic loop. *Astrophysical Journal*, 639, 1186–1205. <https://doi.org/10.1086/499419>
- Sáiz, A., Ruffolo, D., Bieber, J. W., Evenson, P., & Pyle, R. (2008). Anisotropy signatures of solar energetic particle transport in a closed interplanetary magnetic loop. *Astrophysical Journal*, 672, 650–658. <https://doi.org/10.1086/523663>
- Simpson, J. A. Jr. (1948). The latitude dependence of neutron densities in the atmosphere as a function of altitude. *Physical Review*, 73, 1389–1391. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.73.1389>
- Stoker, P. H. (1985). Spectra of solar proton ground level events using neutron monitor and neutron moderated detector recordings. In *Proceedings 19th International Cosmic Ray Conference* (Vol. 4, pp. 114–117).

- Stoker, P. H., & Raubenheimer, B. C. (1985). The neutron moderated detector and groundbased cosmic ray modulation studies. In *Proceedings 19th International Cosmic Ray Conference* (Vol. 5, pp. 502–505).
- Stoker, P. H., van der Walt, A. J., & Potgieter, M. S. (1980). Modulation of cosmic rays during solar minimum. Part 1. Cosmic ray intensity survey at sea-level during 1976: Experimental details. *South African Journal of Physics*, 3, 73–76.
- Thomsen, M. F. (2004). Why K_p is such a good measure of magnetospheric convection. *Space Weather*, 2, S11004. <https://doi.org/10.1029/2004SW000089>
- Tsyganenko, N. A. (1987). Global quantitative models of the geomagnetic field in the cislunar magnetosphere for different disturbance levels. *Planetary and Space Science*, 35, 1347–1358. [https://doi.org/10.1016/0032-0633\(87\)90046-8](https://doi.org/10.1016/0032-0633(87)90046-8)
- Usoskin, I. G., Gil, A., Kovaltsov, G. A., Mishev, A. L., & Mikhailov, V. V. (2017). Heliospheric modulation of cosmic rays during the neutron monitor era: Calibration using PAMELA data for 2006–2010. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 122, 3875–3887. <https://doi.org/10.1002/2016JA023819>
- Villoresi, G., Dorman, L. I., Lucci, N., & Ptitsyna, N. G. (2000). Cosmic ray survey to Antarctica and coupling functions for neutron component near solar minimum (1996–1997): 1. Methodology and data quality assurance. *Journal of Geophysical Research*, 105, 21,025–21,034. <https://doi.org/10.1029/2000JA900048>
- Zreda, M., Desilets, D., Ferré, T. P. A., & Scott, R. L. (2008). Measuring soil moisture content non-invasively at intermediate spatial scale using cosmic-ray neutrons. *Geophysical Research Letters*, 35, L21402. <https://doi.org/10.1029/2008GL035655>

OUTPUT 2

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

OUTPUT 2.1

ใช้ในการเรียนการสอนจำนวน 4 กระบวนวิชา

ปีการศึกษา2561 ภาคเรียนที่ 1



MANAGEMENT
INFORMATION
SYSTEM
CHIANG MAI UNIVERSITY



 ผู้ใช้ระบบ : นางสาววรรณ นันทิยา ออกจากระบบ
 หน้าแรก | ข่าวสาร | ติดต่อเรา

ข้อมูลส่วนบุคคล | **ข่าวสาร/กิจกรรม** | **จัดการข้อมูล** | **ข้อมูลสารสนเทศ** | **สืบค้นข้อมูล** | **อีเมล** | **ดาวน์โหลด**

ภาระงานสอน

ดู กรังหน้าหลัก

ชื่อ - สกุล : น.ส.วรรณ นันทิยา
 ปรเภทบุคลากร : พนักงานมหาวิทยาลัยประจำ
 สังกัด/หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์
 ตำแหน่งงาน : อาจารย์
 สถานะ : หักงานปกติ



แสดงข้อมูล

เพิ่มข้อมูล

ปีการศึกษา: 2561 | ภาคการศึกษา: ภาคการศึกษาที่ 1

****ท่านสามารถทำการแก้ไขภาระงานวิชาที่ตนเองเป็นผู้สอนเข้าไปในระบบได้เท่านั้น****

แก้ไข	ลบ	No.	Course No.	TITLE	LEC	LAB	CREDIT	DAY	SCHEDULE TIME	ROOM	จะได้	จนแล้ว
		1	201100	INTEGRATED SCIENCE	001	000	3	Monday, Thursday	0800 - 0930	SCB1100	250	274
		2	201100	INTEGRATED SCIENCE	002	000	3	Tuesday, Friday	0930 - 1100	SCB1100	250	258
		3	207103	PHYS FOR SCI STUD 1	001	000	3	Tuesday, Friday	1300 - 1430	Pb1-330	150	143
		4	207115	PHYS LAB ENG AND AGRO I	000	002	1	Monday	0930 - 1230	SCB1302	30	29
		5	207419	INTRODUCTION TO ASTROPHYS	001	000	3	Monday, Thursday	1300 - 1430	PB2-104	30	32
		6	226711	HIGH-ENERGY ASTROPHYSICS	001	000	3	Tuesday, Friday	1430 - 1600	PB2-105	10	5

ปีการศึกษา2561 ภาคเรียนที่ 2



MANAGEMENT
INFORMATION
SYSTEM
CHIANG MAI UNIVERSITY



 ผู้ใช้ระบบ : นางสาววรรณ นันทิยา ออกจากระบบ
 หน้าแรก | ข่าวสาร | ติดต่อเรา

ข้อมูลส่วนบุคคล | **ข่าวสาร/กิจกรรม** | **จัดการข้อมูล** | **ข้อมูลสารสนเทศ** | **สืบค้นข้อมูล** | **อีเมล** | **ดาวน์โหลด**

ภาระงานสอน

ดู กรังหน้าหลัก

ชื่อ - สกุล : น.ส.วรรณ นันทิยา
 ปรเภทบุคลากร : พนักงานมหาวิทยาลัยประจำ
 สังกัด/หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์
 ตำแหน่งงาน : อาจารย์
 สถานะ : หักงานปกติ



แสดงข้อมูล

เพิ่มข้อมูล

ปีการศึกษา: 2561 | ภาคการศึกษา: ภาคการศึกษาที่ 2

****ท่านสามารถทำการแก้ไขภาระงานวิชาที่ตนเองเป็นผู้สอนเข้าไปในระบบได้เท่านั้น****

แก้ไข	ลบ	No.	Course No.	TITLE	LEC	LAB	CREDIT	DAY	SCHEDULE TIME	ROOM	จะได้	จนแล้ว
		1	207106	PHYS ENG AND AGRO STUD II	001	000	3	Monday, Thursday	0800 - 0930	PB1-230	120	81
		2	207314	ADV PHYS LAB II	000	001	1	Wednesday	1430 - 1730	PB2-210	5	5
		3	207314	ADV PHYS LAB II	000	002	1	Wednesday	1430 - 1730	PB2-210	5	5
		4	207314	ADV PHYS LAB II	000	003	1	Wednesday	1430 - 1730	PB2-211	5	5
		5	207314	ADV PHYS LAB II	000	004	1	Wednesday	1430 - 1730	PB2-211	5	5
		6	226703	OBSERVATIONAL ASTRONOMY	001	000	3	Monday, Thursday	1430 - 1600	PB2-305	20	5
		7	226710	COMPUTATIONAL ASTROPHYSICS	001	000	3	Monday, Thursday	1100 - 1200	PB2-104	20	5
		8	226789	SELE TOPICS ASTRO & ASTRSPHYS	003	000	3	Tuesday, Friday	1430 - 1600	PB2-106	10	1
		9	226791	SEMINAR IN ASTRONOMY 1	001	000	1	Wednesday	1300 - 1500	PB2-112	10	2
		10	226792	SEMINAR IN ASTRONOMY 2	001	000	1	Wednesday	1300 - 1500	PB2-112	10	2
		11	226891	Ph.D. SEMINAR IN ASTRONOMY 1	001	000	1	Wednesday	1300 - 1500	PB2-112	10	1

OUTPUT 2.2

สร้างอุปกรณ์สำหรับการทดลองในทวีปแอนตาร์กติกา



ข่าวในพระราชสำนัก วันอังคารที่ 16 ตุลาคม พ.ศ.2561



อ.ดร.วราภรณ์ นันทียกุล (หัวหน้าโครงการ)
กำลังถวายรายงานวิจัยฯ



Pause (k)

ข่าว ➡ อาจารย์ ดร.วรภรณ์ นันทิกุล หัวหน้าโครงการวิจัยการสำรวจดัดขั้มละติจูด อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มช. วิจัยลุยทั่วโลกใต้ศึกรังสีคอสมิก



มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (มช.) ร่วมกับ สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (สดร.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เดินหน้าโครงการความร่วมมือศึกษาวิจัยดาราศาสตร์และวิทยาศาสตร์ทั่วโลก ร่วมพัฒนาเครื่องมือวิจัยเพื่อศึกษาผลกระทบของรังสีคอสมิกที่มีต่อโลก เตรียมส่งเครื่องมือพร้อมนักดาราศาสตร์ลงเรือสำรวจเก็บข้อมูลจากจีนถึงทั่วโลกได้ รวมระยะเวลา 5 เดือน หวังสร้างองค์ความรู้ใหม่ด้านฟิสิกส์ดาราศาสตร์

หน้าแรก (/) / คำสำคัญ / ดร. วรากรณ์ นันทยกุล



อังคารที่ 18 กันยายน 2561 เวลา 13.20 น.

เตรียมส่งนักดาราศาสตร์ไทยศึกษารังสีคอสมิกที่ขั้วโลกใต้

สตร. น. ๒. เติมน้ำโครงการความร่วมมือศึกษาวิจัยดาราศาสตร์และวิทยาศาสตร์ทั่วโลก ส่งนักดาราศาสตร์ศึกษารังสีคอสมิกที่แอนตาร์กติกา กำหนดเดินทางต้นเดือนพฤศจิกายนนี้

[Go to Top ▲](#)

เดลินิวส์

(/t/666761)

อ่านความจริง อ่านเดลินิวส์

สงวนลิขสิทธิ์ © 2559 - 2560 บริษัท สหะการพิมพ์ จำกัด

(http://truehits.net/stat.php?

page=1)

19-02-2019 System time : 19-02-2019 21:38:04

ติดต่อโฆษณา (/ads)

ติดต่อเรา (/contact)

ร่วมงานกับเรา (/jobs)

ตามติดเดลินิวส์ [f](https://www.facebook.com/dailynewsonlinefan) (https://www.facebook.com/dailynewsonlinefan) [Twitter](#)

(https://twitter.com/dailynewstwit) [G+](#)

(https://plus.google.com/+%E0%B9%80%E0%B8%94%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%9

[YouTube](#) (https://www.youtube.com/user/THDailyNews) [Instagram](#) (https://www.instagram.com/dailynews_in)

https://www.dailynews.co.th/tags/%E0%B8%94%E0%B8%A3.%20%E0%B8%A7%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A0%E0%B8%A3%E0%B8%... 1/2

77 วันกลัฟีน พางงานวิจัยดาราศาสตร์สู่ “แอนตาร์กติกา”

เผยแพร่: 19 ก.ย. 2561 01:56 โดย: ผู้จัดการออนไลน์



ดร.วรภกร นันท์กุล

77 วันกลัฟีน พางงานวิจัยดาราศาสตร์สู่ “แอนตาร์กติกา”

หลังยื่นข้อเสนอโครงการวิจัยต่อมีเวลาเพียง 77 วัน เพื่อเตรียมความพร้อมเพื่อการทดลองเก็บข้อมูลรังสีคอสมิกไปพร้อมกับเรือตัดน้ำแข็งสู่อันตาร์กติกาของจีน แต่เธอก็ทำสำเร็จภายใต้เงื่อนไขเวลา ทรัพยากรและงบประมาณอันจำกัด

นับเป็นครั้งแรกสำหรับประเทศไทยที่จะได้ส่งงานวิจัยดาราศาสตร์ไปสู่ “แอนตาร์กติกา” ทริปปันหาทางเยือนทางขั้วโลกใต้ โดยสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (สดร.) และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้เผยถึงความพร้อมของโครงการความร่วมมือศึกษาวิจัยดาราศาสตร์และวิทยาศาสตร์กับสถาบันวิจัยขั้วโลกแห่งจีน (Polar Research Institute of China : PRIC)

โครงการวิจัยนี้มีชื่อว่า “โครงการความร่วมมือศึกษาวิจัยดาราศาสตร์และวิทยาศาสตร์กับสถาบันวิจัยขั้วโลกแห่งจีน (Polar Research Institute of China : PRIC)” ซึ่งได้ดำเนินการขึ้นที่เมืองเซี่ยงไฮ้ สาธารณรัฐประชาชนจีน ไปยังสถานีวิจัยจงซาน (Zhongshan) ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งของทวีปแอนตาร์กติกา

โครงการวิจัยนี้มีชื่อว่า “โครงการความร่วมมือศึกษาวิจัยดาราศาสตร์และวิทยาศาสตร์กับสถาบันวิจัยขั้วโลกแห่งจีน (Polar Research Institute of China : PRIC)” ซึ่งได้ดำเนินการขึ้นที่เมืองเซี่ยงไฮ้ สาธารณรัฐประชาชนจีน ไปยังสถานีวิจัยจงซาน (Zhongshan) ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งของทวีปแอนตาร์กติกา

สตร.-มช.ส่ง ตู้คอนเทนเนอร์ข้างแวนพร้อมนักวิจัย ลงเรือมังกรหิมะ ล่องข้าวโลกใต้ ศึกษารังสีคอสมิก

วันที่ 18 กันยายน 2561 - 14:09 น.



วันที่ 18 กันยายน สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ร่วมกับ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ แลกส่งข้าวโครงการความร่วมมือศึกษาวิจัยดาราศาสตร์และวิทยาศาสตร์บรรยากาศข้าวโลก มี รศ.บุญรักษา สุนทรธรรม ที่ปรึกษาสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ รศ.สัมพันธ์ สิงห์ราชวราพันธ์ รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ดร. วราภรณ์ ไนทิยกุล หัวหน้าโครงการวิจัยการสำรวจดัดข้าวและดีลิด และนายพงษ์พิไลตร ชวน

เป็นคนตรง! ศิลปินแห่งชาติ โพสต์ 3 บรรทัดถึง 'บ๊ิกตุ' บอก 24 มีนา ไปไล่...แน

[อ่านบทความต่อไป >](#)



Prof. and Chiang Mai University collaborated on research in astronomy and polar science. Develop tools and equipment to study the effects of cosmic rays. Sending astronomers to take a boat to explore Antarctica.

National Institute of Astronomy (Public Organization) or Faculty of Natural Sciences, University of Chiang Mai. Press Conference on Astronomy and Polar Science Research Collaboration with Associate Prof. Boonpar Suntonthamthum, Advisor, National Institute of Astronomy Associate Professor Dr. Lion King Vice President of the University of Chiang Mai Dr. Waraporn Nuntiyakul, Head of Research Project and Mr. Pongpichit I have treatment Astronomers said the Astronomy and Polar Science Research Collaboration project will begin in 2013. Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn Chakri Sirindhorn His Majesty the King wants to study Astronomy and Polar Atmosphere Research with the People's Republic of China. And assigned The project has been coordinated with the relevant agencies. Until 6 April 2019, HRH Princess Maha Chakri Sirindhorn. Chakri Sirindhorn Majesty graciously. President of the Polar Research Institute of China (PRIC) in Beijing, China. He joined the Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR) in the same year. Antarctica is a challenging area, both the weather and the terrain. It is difficult to lead to the development of innovation and technology to work. The purpose of the National Astronomical Research Institute



- [SIGN IN](#)
- [About E-Paper](#)
- [Subscribe](#)
- [Free Trial](#)
- [Report problem](#)
- [Contact us](#)
- [NEWS Homepage](#)
- [MOST RECENT](#)
- [Top stories](#)
- [POLITICS](#)
- [Crime](#)
- [General](#)
- [ASEAN](#)
- [WORLD](#)
- [SPORTS](#)
- [More](#)
 - [WEATHER FORECAST](#)
 - [SPECIAL REPORT](#)
 - [SECURITY](#)
 - [Transport](#)
 - [Environment](#)

[News](#) > [General](#)

Thai scientist to join polar research team in Antarctica

- 20 Sep 2018 at 05:00 [1 comments](#)
- NEWSPAPER SECTION: [NEWS](#) | WRITER: [POST REPORTERS](#)

- +

A Thai scientist will join a Polar Research Institute of China team in a five-month research project covering astronomy and pole science to begin on Nov 10 and end on April 10, next year in Antarctica.

The purpose of the study is to better understand the impact of cosmic rays on Earth, which will lead to development of new equipment for further study the impact of cosmic rays.

Pongpichit Chuanraksasat, 25, Thailand's first and only astronomer to take part in the planned Antarctic research, said he was honoured to be selected.

Apart from the fact that he would become a part of an important effort to generate knowledge, he also hoped to inspire students interested this field of studies, said Mr Pongpichit, who works with the National Astronomical Research Institute of Thailand (NARIT).

Assoc Prof Sampan Singharajwarapan, vice-president of Chiang Mai University, said the university in cooperation with the NARIT had earlier this year submitted a research proposal to the PRIC suggesting a study into the impact of cosmic rays on Earth.

The proposal was approved, as was a request to bring a cargo container modified into a research laboratory to Antarctica on the Xue Long ship together with the research team, he said. The ship is due to leave Shanghai on Nov 10.

Thai-Chinese astronomical and Pole science cooperation was initiated in 2013 after Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn expressed a wish for Thailand to begin cooperation in this field of studies, said Assoc Prof Boonraksa Soonthorntham, an adviser to the NARIT.

By continuing to use our site you consent to the use of cookies as described in our privacy policy. [Accept and close](#)

HIP

NOVEMBER 2018 VOL.15 NO.168 / FREE COPY

“ ขึ้นสู่ปีที่สิบห้า ”

TIME TO SHARE

15

TIME
TO SH
TIME
TO

TIME
TO SHARE

TIME TO SHARE

“ ช่วยเหลือเกื้อกูล ”

CHANGVAN

FROM CHIANG MAI TO ANTARCTICA

งานวิจัยไทย สำนวณไกลถึงแอนตาร์กติกา

เรื่อง : เพชรรัตน์ ภาพ : เพชรรัตน์ / ads. เรียบเรียง : HIP Team

HIP ขวบน ดร.วรารณ นันทียกุล และ พงษ์พิจิตร ขวบนริษาสัตย์ มาถ่ายทอดเรื่องราวของการนำ 'ช้างแวน' คอนเทนเนอร์ที่มีอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีคอสมิกไปติดตั้งบนเรือตัดน้ำแข็งสัญชาติจีน เพื่อเดินทางไปยังแอนตาร์กติกา ซึ่งการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความรู้ด้านฟิสิกส์ดาราศาสตร์งานนี้ นอกจากจะต้องเตรียมคอนเทนเนอร์ให้พร้อมภายในเวลา 77 วันแล้ว ตัวพงษ์พิจิตรเองก็ต้องใช้ชีวิตอยู่บนเรือกับเจ้าคอนเทนเนอร์นี้ไปอีกหลายเดือนด้วย!



ดร.วรารณ นันทียกุล อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในฐานะหัวหน้าโครงการวิจัยการสำรวจตัดข้ามละติจูด เริ่มต้นอธิบายความเป็นมาของโครงการนี้ว่า 'ช้างแวน(Changvan)' เป็นชื่อของคอนเทนเนอร์ที่ภายในติดตั้งเครื่องตรวจวัดอนุภาคนิวตรอนเอาไว้โดยคอนเทนเนอร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของ โครงการวิจัยการสำรวจตัดข้ามละติจูด (Latitude Survey Project) ซึ่งเกิดจากความร่วมมือระหว่างสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (สตร.) ร่วมกับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (มช.) ในโครงการความร่วมมือศึกษาวิจัยดาราศาสตร์และวิทยาศาสตร์ทั่วโลก ที่มีเป้าหมายเพื่อศึกษาผลกระทบของรังสีคอสมิกต่อโลก ด้วยการนำเครื่องตรวจวัดอนุภาคนิวตรอนบรรทุกบนเรือตัดน้ำแข็งเพื่อทำการตรวจวัดรังสีคอสมิกจากอวกาศที่เข้ามาถึงโลก โดยผลการวิจัยที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบและยืนยันกับผลวิจัยจากการสำรวจในลักษณะเดียวกันที่เคยเกิดขึ้นก่อนหน้านี้โดยกลุ่มนักวิจัยในต่างประเทศ ซึ่งตัว ดร.วรารณนั้นเคยมีส่วนร่วมในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนั้นด้วย

อย่างไรก็ตาม กว่การวิจัยนี้จะเกิดขึ้นได้ไม่ใช่เรื่องง่าย โดย ดร.วรารณอธิบายว่า เนื่องจากจะต้องนำคอนเทนเนอร์ที่มีเครื่องตรวจวัดอนุภาคนิวตรอนไปติดตั้งบนเรือตัดน้ำแข็งเพื่อเดินทางไปยังทวีปแอนตาร์กติกา ดังนั้นทางโครงการวิจัยจึงต้องส่งข้อเสนอไปยังสถาบันวิจัยทั่วโลกแห่งจีน เพื่อขออนุมัติในการนำตู้คอนเทนเนอร์ไปติดตั้งบนเรือ และเมื่อทางจีนตกลง

อนุมัติให้สามารถนำ 'ช้างแวน' ไปติดตั้งบน 'เซว่หลง (Xue Long)' หรือ 'เรือมังกรหิมะ' ซึ่งจะออกเดินทางเก็บข้อมูลจากเมืองเซี่ยงไฮ้ สาธารณรัฐประชาชนจีน ไปยังสถานีวิจัยจงซาน (Zhongshan) ที่ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งของทวีปแอนตาร์กติกาได้ ทีมนักวิจัยของไทยก็ใช้เวลาในการเตรียม 'ช้างแวน' ให้พร้อมสำหรับการเดินทางเพียง 77 วันเท่านั้น

"การที่ทางจีนตกลงตอบรับเป็นเรื่องที่น่าเหลือเชื่อมาก เพราะโครงการของเราเป็นโครงการที่ใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักเยอะ ขนาดของคอนเทนเนอร์ของเราอยู่ที่ 20 x 8 ฟุต น้ำหนัก 10 ตัน แต่เรือตัดน้ำแข็งจะต้องประหยัดพื้นที่และน้ำหนักอย่างมาก เราเลยคิดกันว่าเขาไม่น่าจะสนใจ แต่เมื่อจีนอนุมัติ เราใช้เวลาเตรียมการแค่ 77 วันเท่านั้น ช่วงนั้นทุกคนเครียดมาก ต้องเกณฑ์คนมาช่วย ทั้งทีมงานจาก สตร. และ มช. รวมถึงนักศึกษา มาช่วยกันติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดนิวตรอนในคอนเทนเนอร์ให้เสร็จทันเวลา ซึ่งส่วนหนึ่งต้องขอขอบคุณมหาวิทยาลัยชินซู ประเทศญี่ปุ่น ที่บริจาคตู้คอนเทนเนอร์ให้กับงานวิจัยนี้ และมหาวิทยาลัยเดลาแวร์ กับมหาวิทยาลัยวิสคอนซิน ริเวอร์ฟอลล์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ช่วยสนับสนุนด้านอิเล็กทรอนิกส์และการพัฒนาอุปกรณ์ เพราะนอกจากเวลาจะจำกัดแล้วงบประมาณที่เราได้รับมาก็ไม่มากพอที่จะซื้ออุปกรณ์ใหม่ แต่เมื่อได้รับความช่วยเหลือในเรื่องอุปกรณ์ต่างๆ ทำให้เราเหลือแค่ค่าใช้จ่ายในการขนส่งอุปกรณ์เท่านั้น"

หลังจากแก้ปัญหาเรื่องอุปกรณ์กันไปแล้ว อีกเรื่องที่ต้องแก้ปัญหา

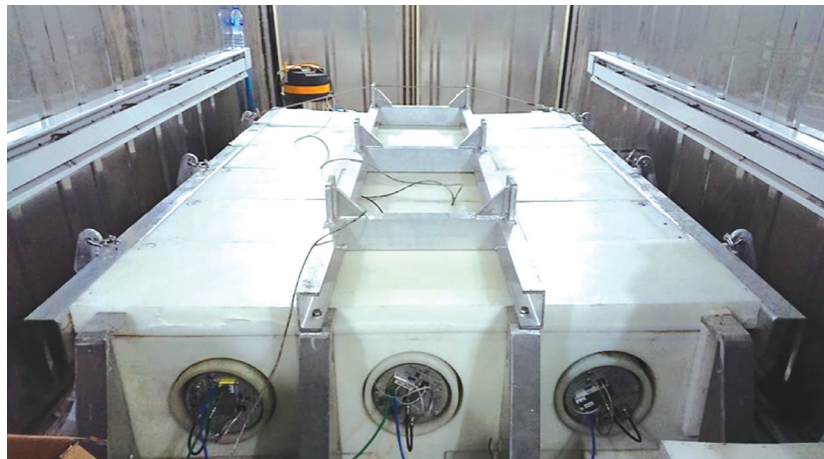


ก็คือ เนื่องจากจีนไม่อนุญาตให้ผู้หญิงเดินทางไปกับเรือตัดน้ำแข็ง ซึ่งหมายความว่า ดร.วรารณเป็นผู้เป็นหัวหน้าโครงการไม่สามารถเดินทางไปทำการวิจัยด้วยตัวเองได้ จึงต้องหาตัวแทนที่จะไปกับเรือตัดน้ำแข็งเพื่อดูแลคอนเทนเนอร์และส่งข้อมูลการวิจัยกลับมาให้กับ ดร.วรารณ ด้วยพงษ์พิจิตร ซึ่งเป็นนักวิจัยของ สดร. จึงถูกเลือกให้มารับภารกิจดังกล่าว

โดยพงษ์พิจิตรกล่าวถึงการเตรียมตัวเพื่อเดินทางไปกับเรือตัดน้ำแข็งสู่ทวีปแอนตาร์กติกาว่า “อย่างแรกก็เตรียมร่างกายให้พร้อมครับ เพราะเป็นเรื่องสำคัญมาก ส่วนเรื่องของภาษาจีนผมพอรู้บ้างอยู่แล้ว แต่ก็ต้องศึกษาเพิ่มเติม อย่างเช่นคำศัพท์ที่จำเป็น ถ้าเกิดสถานการณ์แบบนี้จะต้องคุยกับคนบนเรือยังไง เพื่อขอความช่วยเหลือจากเขาและทำให้เขาเข้าใจว่าเราต้องการอะไร ด้านอุปกรณ์ซึ่งผมไม่คุ้นเคยมาก่อน ก็เป็นสิ่งที่ต้องเรียนรู้ใหม่ทั้งหมด พยายามถามคนที่เขารู้ให้ได้มากที่สุด ตัวอุปกรณ์มันสามารถที่จะทำงานได้ด้วยตัวเองอยู่แล้ว หน้าที่หลักๆ ของผมคือการเก็บข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดอนุภาคนิวตรอน และคอยสังเกตหาอุปกรณ์เกิดปัญหาขึ้น เพื่อจะได้ทำการซ่อมแซมให้อุปกรณ์ทำงานต่อไปได้

“อีกเรื่องคือการสื่อสารระหว่างผมกับทีมงานที่เมืองไทย ตอนแรกเราวางแผนว่าจะใช้โทรศัพท์ดาวเทียม แต่เนื่องจากมีงบประมาณจำกัด การสื่อสารที่เป็นไปได้จึงเหลือแค่การส่งอีเมล ซึ่งจะไม่ใช่อีเมลแบบที่คนทั่วไปใช้กัน แต่เป็นการส่งอีเมลเป็นบีท การส่งแบบนี้ค่อนข้างยากและใช้เวลานาน แต่ข้อมูลที่จะส่งกลับมาเป็นข้อความสั้นๆ เท่านั้น ก็คิดว่าพอไหว ช่วงแรกๆ ผมอาจต้องส่งอีเมลให้อาจารย์วรารณทุกวัน เพื่อเป็นการเช็คทุกอย่างยังโอเคดี แต่เมื่อทุกอย่างอยู่ตัวแล้วทั้งเรื่องของการทำงานของอุปกรณ์ และข้อมูลที่ได้ ผมก็อาจจะรอให้ขึ้นฝั่งสักฝั่งหนึ่งตามจุดจอดของเรือก่อน แล้วค่อยส่งข้อมูลกลับมาให้ทีเดียว”

ทั้งนี้ ดร.วรารณและพงษ์พิพัฒน์ยอมรับว่า การนำ ‘ช้างแวน’ ออกไปทำการสำรวจและรวบรวมข้อมูลตลอดระยะเวลา 5 เดือนนั้น แม้จะมีการเตรียมการกันมาอย่างดี และได้รับความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่าย



แต่สุดท้ายแล้ว นี่ก็ยังเป็นครั้งแรก ที่งานวิจัยของไทยจะได้ไปทำการวิจัยกันถึงทวีปแอนตาร์กติกา ซึ่ง ดร.วรารณบอกว่าคงจะมีปัญหาต่างๆ อีกมากที่จะเกิดขึ้นและต้องหาทางแก้ไข และสุดท้ายก็อาจจะไม่สามารถยืนยันได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ “แต่อย่างน้อยที่สุดทุกคนที่เกี่ยวข้องก็จะได้เรียนรู้จากปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างทางและเก็บเกี่ยวไว้เป็นประสบการณ์ เราไม่รู้ว่าการสำรวจครั้งนี้จะประสบความสำเร็จมากน้อยเพียงใด แต่สิ่งที่ได้กลับมาจะต้องเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยในครั้งต่อไป เพราะเราตั้งเป้าไว้ว่าจะต้องทำการศึกษาเรื่องนี้อย่างต่อเนื่อง เรื่องของรังสีคอสมิกจำเป็นต้องใช้เวลาในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล แต่สิ่งที่ได้จะสามารถนำไปต่อยอดในการศึกษาวิจัยอื่นๆ รวมถึงสร้างความร่วมมือในการศึกษาวิจัยได้อีกมาก”

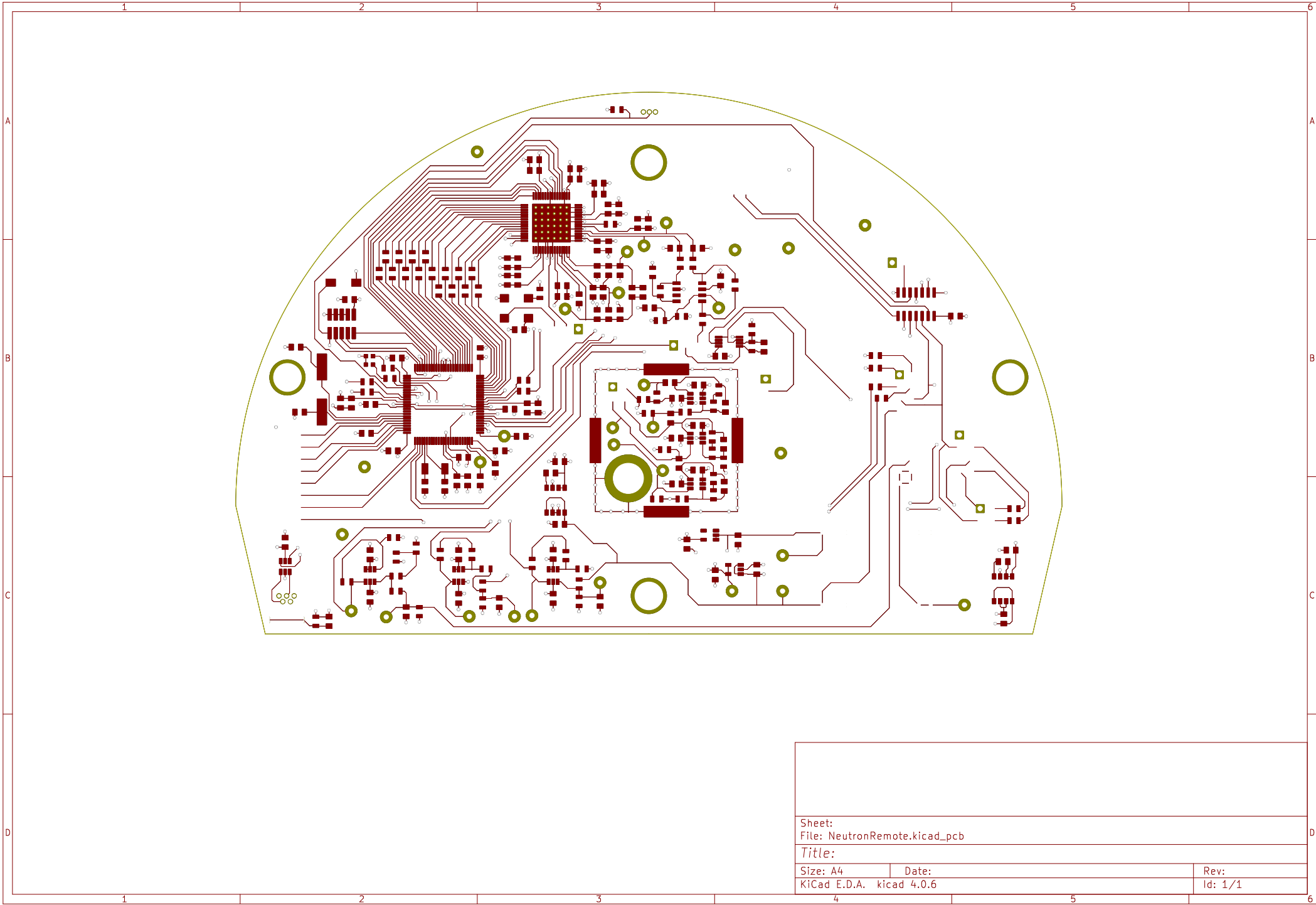
มาถึงตรงนี้น่าจะมีคนที่สงสัยว่า การตรวจวัดรังสีคอสมิกนั้นมีความสำคัญอย่างไร ซึ่ง ดร.วรารณได้ให้คำตอบในเรื่องนี้เอาไว้ว่า “การศึกษาเรื่องการตรวจวัดรังสีคอสมิกเป็นเรื่องที่มีคนศึกษาน้อยมาก ถ้าดูจากทั้งโลกก็มีเพียง 4 ประเทศเท่านั้นที่ศึกษาเรื่องนี้ นั่นคือสหรัฐอเมริกา จีน ญี่ปุ่น และไทย ส่วนผลลัพธ์ที่ได้จะนำไปสู่ความรู้ใหม่ในด้านฟิสิกส์ดาราศาสตร์ พุดให้เข้าใจง่ายขึ้นก็คือ จะช่วยให้เรามีความเข้าใจต่อสภาพอวกาศได้มากขึ้น นอกจากนี้สำหรับคนไทยแล้ว เราอยากให้มองว่านี่คือจุดเริ่มต้นของการมีข้อมูลงานวิจัยในระดับโลกที่เป็นของเราเอง ก่อนหน้านั้นหากเราจะศึกษาเรื่องรังสีคอสมิก เราจะต้องศึกษาจากข้อมูลที่นักวิจัยต่างประเทศได้ทำไว้ แต่ครั้งนี้ข้อมูลที่ได้จะเป็นสิทธิ์ของเราเอง และเราสามารถนำไปทำอะไรก็ได้ นอกจากนี้ยังอยากให้การวิจัยโครงการนี้เป็นสิ่งที่สร้างแรงบันดาลใจให้กับคนไทยว่าเราก็ทำได้ อยากให้คนไทยเห็นถึงความสำคัญของงานวิจัย และได้เห็นว่าการวิจัยของคนไทยก็เป็นที่ยอมรับในระดับโลก” ●●

**** สามารถติดตามความเคลื่อนไหวของคอนเทนเนอร์ ‘ช้างแวน’ และความคืบหน้าของโครงการวิจัยการสำรวจตัดน้ำแข็งจุด ได้ที่ Facebook : หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และห้องปฏิบัติการวิจัยดาราศาสตร์ ****



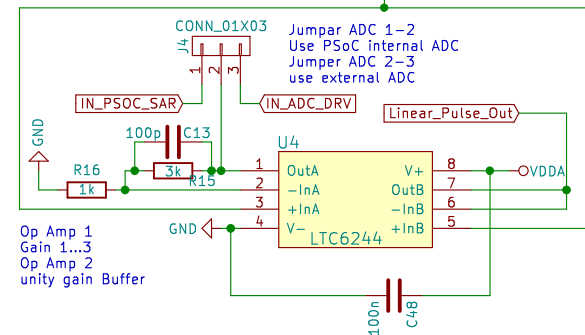
OUTPUT 2.3

พัฒนาอิเล็กทรอนิกส์ของหัววัดนิวตรอนให้มี dead time ต่ำ

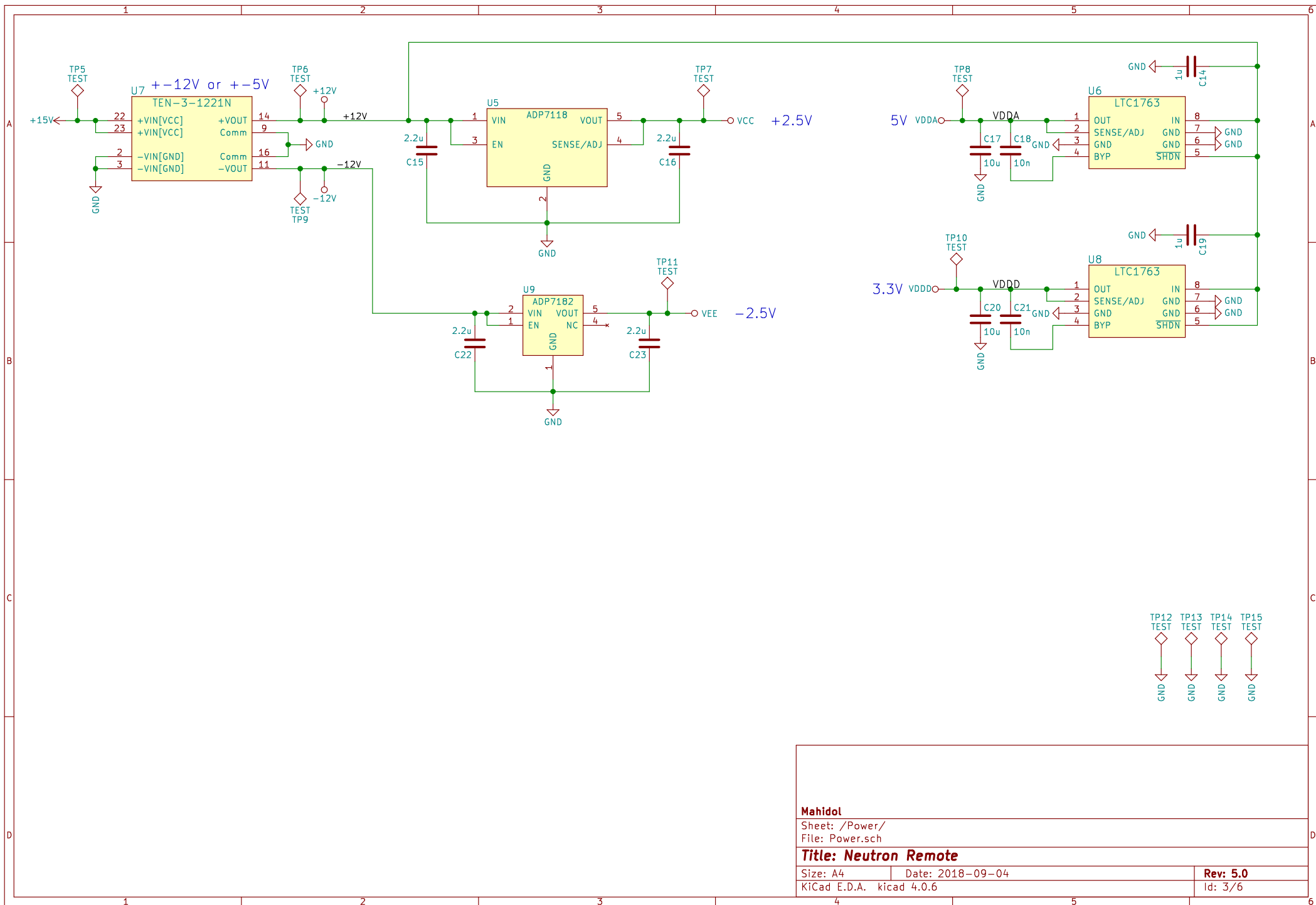


Sheet:		
File: NeutronRemote.kicad_pcb		
Title:		
Size: A4	Date:	Rev:
KiCad E.D.A. kicad 4.0.6		Id: 1/1

1	2	3	4	5	6
A	<div>Sheet: AFE</div> <div>File: AFE.sch</div>				<div>Sheet: Power</div> <div>File: Power.sch</div>
B	<div>Sheet: ADC</div> <div>File: ADC.sch</div>				<div>Sheet: Voltagemonitor</div> <div>File: voltagemonitor.sch</div>
C					<div>Sheet: PSoC</div> <div>File: PSoC.sch</div>
D					<div>Mahidol</div> <div>Sheet: /</div> <div>File: NeutronRemote.sch</div> <div>Title: Neutron Remote</div> <div>Size: A4Date: 2018-09-04</div> <div>KiCad E.D.A. kicad 4.0.6Rev: 5.0</div> <div>Id: 1/6</div>
1	2	3	4	5	6



Id: 2/6



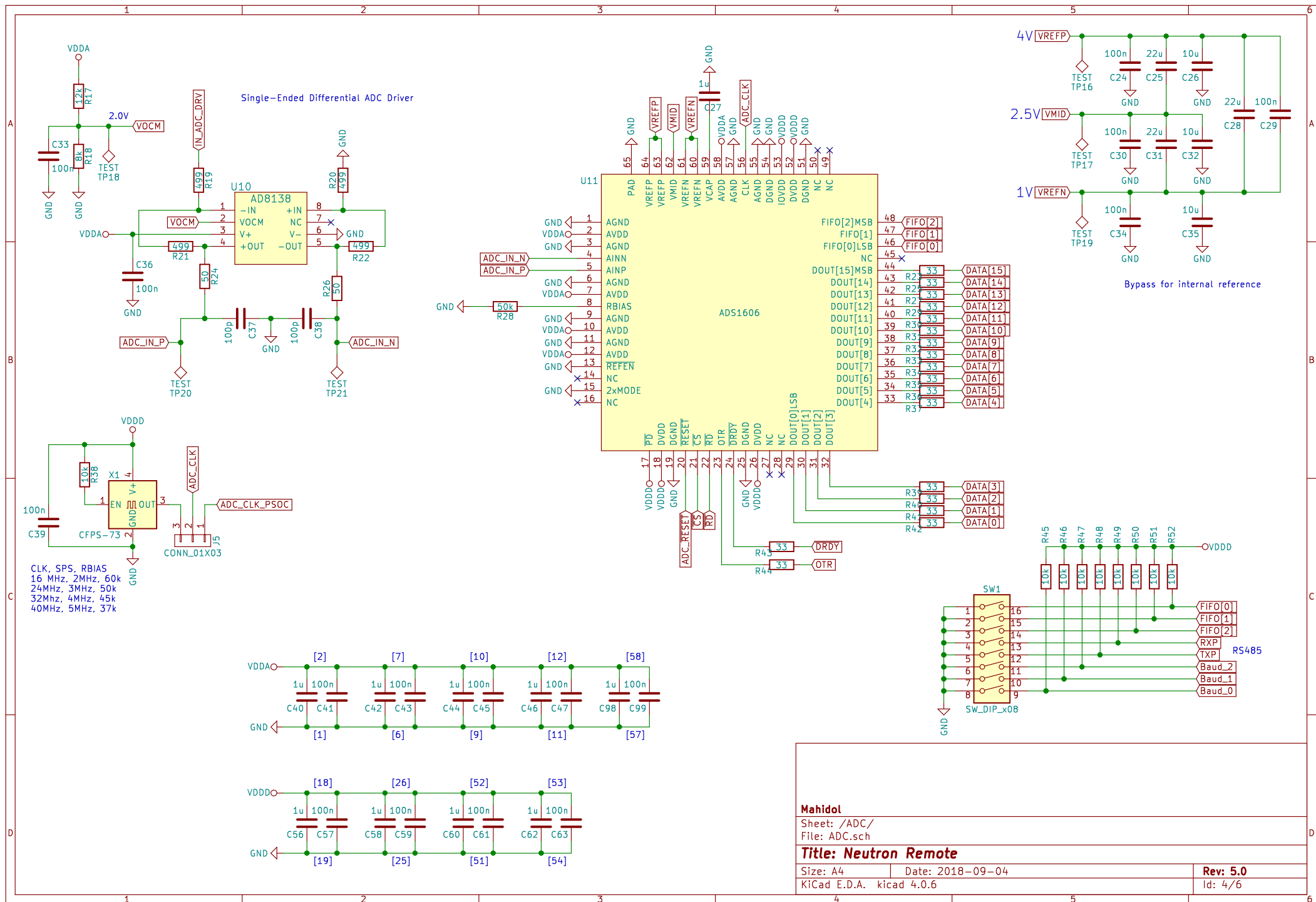
Mahidol

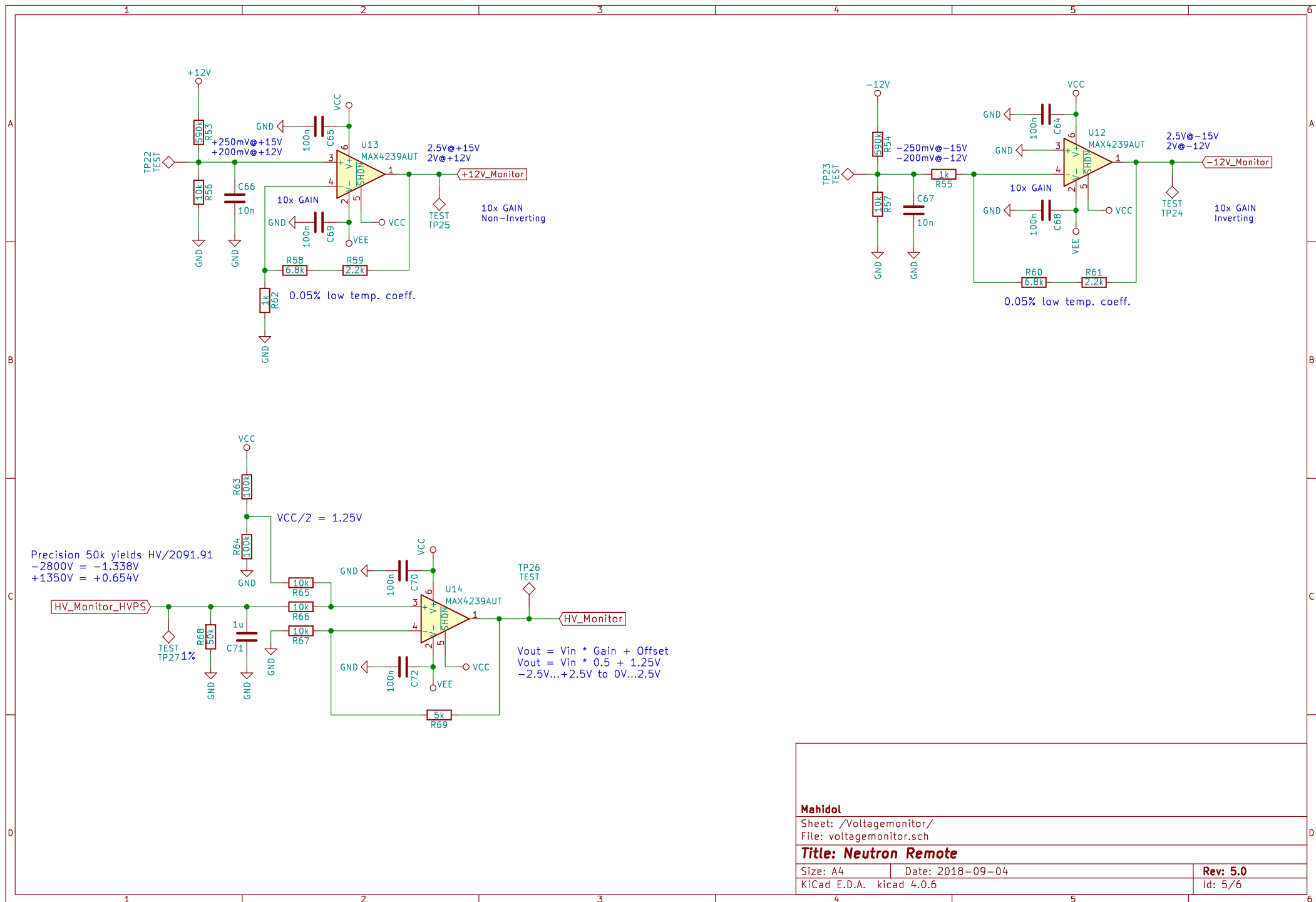
Sheet: /Power/
File: Power.sch

Title: Neutron Remote

Size: A4 Date: 2018-09-04
KiCad E.D.A. kicad 4.0.6

Rev: 5.0
Id: 3/6





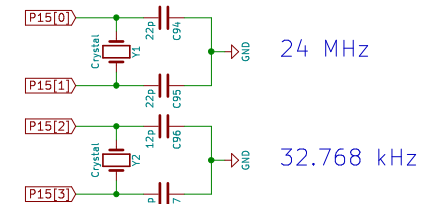
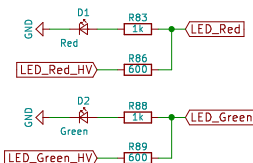
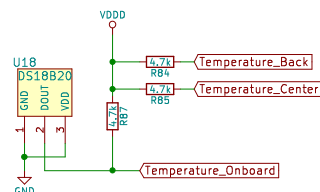
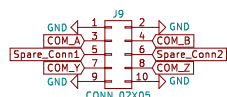
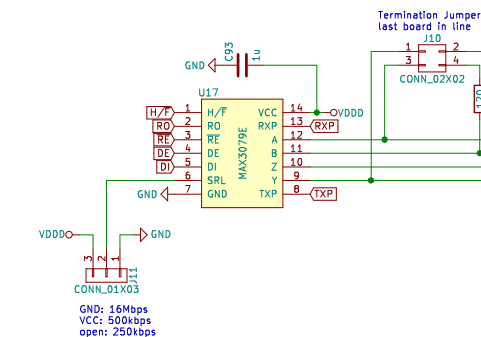
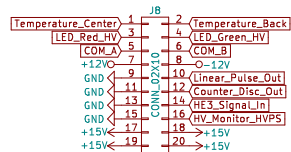
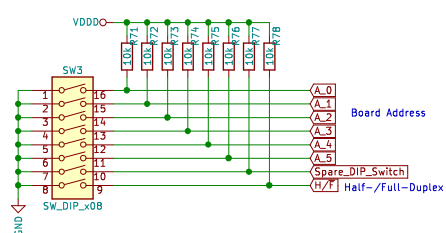
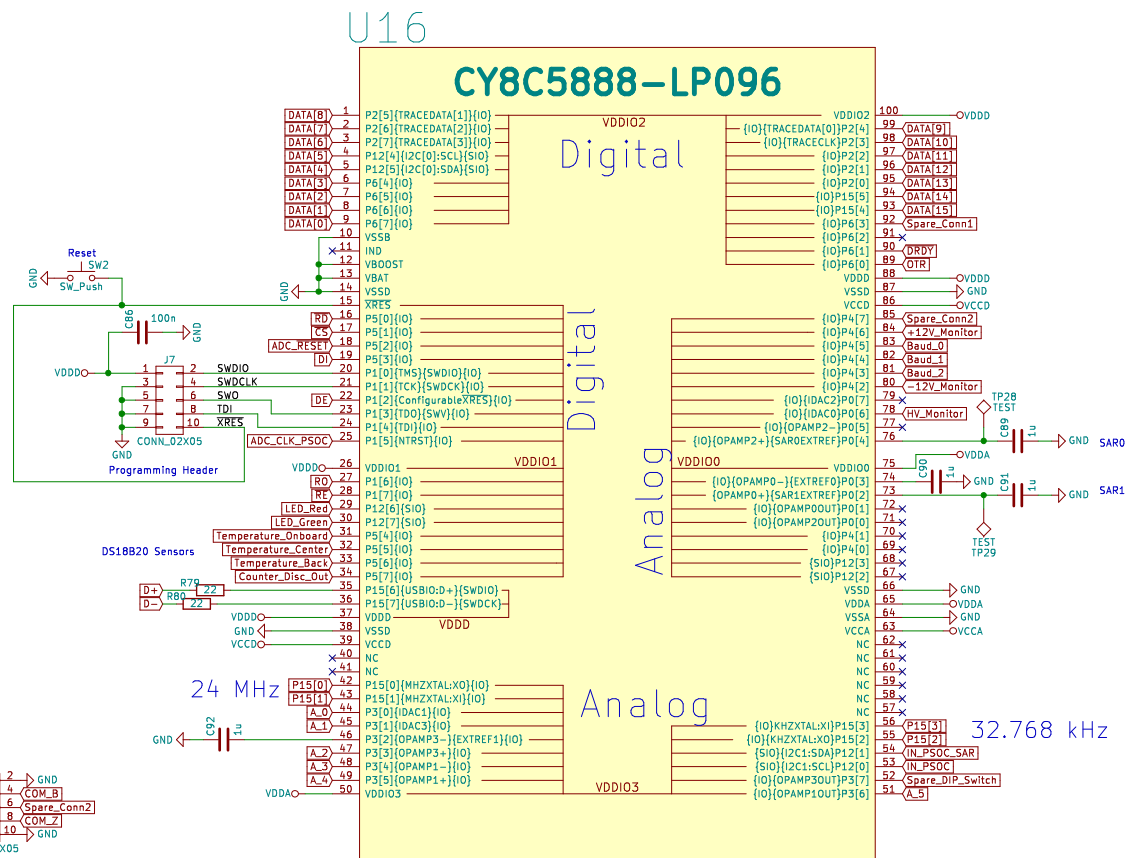
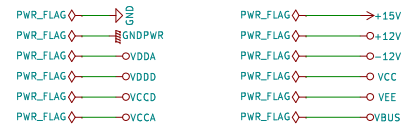
Mahidol

Sheet: /VoltageMonitor/
 File: voltageMonitor.sch

Title: Neutron Remote

Size: A4 Date: 2018-09-04
 KiCad E.D.A. kicad 4.0.6

Rev: 5.0
 Id: 5/6



OUTPUT 2.4

ได้รับเชิญจาก Prof. James Madsen จาก University of Wisconsin-River Falls
(UWRF) ประเทศสหรัฐอเมริกา



Physics Department • (715) 425-3235
The UW System Center of Excellence in Undergraduate Physics and Chemistry

March 21, 2017

Dr. Waraporn Nuntiyakul Program of Physics
Faculty of Science
Chandrakasem Rajabhat University
39/1 Ratchadaphisek Road
Khwaeng Chantharakasem, Chatuchak District
Bangkok, Thailand 10900

Dear Dr. Nuntiyakul:

I am writing to invite you to the University of Wisconsin-River Falls as a visiting scholar in the Physics Department for the period of May 30, 2017 to July 28, 2017. During your time at UWRF, you will be able to collaborate and interchange knowledge and skills with members of the Physics department on neutron monitor research. I would be pleased to host you and pay all your local expenses (food, housing, and local transportation) while you are in River Falls. You also can insure your health care through the university-sponsored insurance policy. Currently the cost of the insurance is approximately \$125 per month for you as a Visiting Scholar. I will also pay for air travel to and from the Minneapolis/St Paul International Airport from Bangkok, Thailand.

About 10 undergraduates will be working with me and Assistant Professor Surujhdeo Seunarine on astrophysics research this summer at UWRF including at least 3 who will work on neutron monitor projects. You can learn more about the UWRF physics program at www.uwrf.edu/PHYS/. The IceCube Research link on the left brings you to an astrophysics link that describes the summer research opportunities for students. You can learn more about the neutron monitors at <http://neutronm.bartol.udel.edu/> and the IceCube Neutrino Observatory at <http://icecube.wisc.edu/>.

Professor Seunarine and I are looking forward to having you at UWRF. We are confident that your presence would be mutually beneficial to our strong and growing neutron monitor research program. Please do not hesitate to contact me if you have questions.

Sincerely,

James Madsen
Professor, Chair
UWRF Physics Department

Associate Director, Director of E&O
IceCube Collaboration



Physics Department • (715) 425-3235
The UW System Center of Excellence in Undergraduate Physics and Chemistry

March 14, 2018

Waraporn (Fhon) Nuntiyakul, Ph.D.
Department of Physics and Material science,
Faculty of Science, Chiang Mai University
239 Huay Kaew Road, Muang District
Chiang Mai THAILAND, 50200

Dear Dr. Nuntiyakul:

I am writing to invite you to the University of Wisconsin-River Falls as a visiting scholar in the Physics Department for the period of June 4, 2018 to August 10, 2018. During your time at UWRF, you will be able to collaborate and interchange knowledge and skills with members of the Physics department on neutron monitor research. I would be pleased to host you and pay all your local expenses (food, housing, and local transportation) while you are in River Falls. You also can insure your health care through the university-sponsored insurance policy. Currently the cost of the insurance is approximately \$125 per month for you as a Visiting Scholar.

About 10 undergraduates will be working with me and Assistant Professor Surujhdeo Seunarine on astrophysics research this summer at UWRF including at least 3 who will work on neutron monitor projects. You can learn more about the UWRF physics program at www.uwrf.edu/PHYS/. The IceCube Research link on the left brings you to an astrophysics link that describes the summer research opportunities for students. You can learn more about the neutron monitors at <http://neutronm.bartol.udel.edu/> and the IceCube Neutrino Observatory at <http://icecube.wisc.edu/>.

Professor Seunarine and I are looking forward to having you at UWRF. We are confident that your presence would be mutually beneficial to our strong and growing neutron monitor research program. Please do not hesitate to contact me if you have questions.

Sincerely,

James Madsen
Professor, Chair
UWRF Physics Department

Associate Director, Director of E&O
IceCube Collaboration

OUTPUT 2.4

ได้รับเชิญจาก Prof. Paul Evenson จาก University of Delaware (UD) ประเทศ
สหรัฐอเมริกา



Department of Physics
& Astronomy

104 The Green
217 Sharp Lab
Newark, DE 19716-2570
Phone: 302-831-2661
Fax: 302-831-1637

May 10, 2017

Dr. Waraporn Nuntiyakul
Chandrakasem Rajabhat University
Faculty of Science
39/1 Ratchadaphisek Road
Khwaeng Chantharakasem
Chatuchak District
Bangkok 10900 **THAILAND**

Dear Dr. Nuntiyakul:

Thank you for telling me that you will be in Wisconsin this summer. I hope you may also be able to visit us here in Delaware to discuss our ongoing collaboration. Pierre-Simon and I would very much like to hear of your work on the latitude survey data.

If you are able to visit us, we are prepared to pay your local expenses for a stay of approximately one week. We would also pay your travel expenses from Minneapolis. At your option we will provide you with a round trip air ticket to Philadelphia, or (with appropriate documentation) we will reimburse you for the additional expense of adding a stop in Philadelphia to your international ticket.

Please note that, in order for us to pay any of your expenses, you must have a minimum of a "B-1 Business" visa. You should be able to apply for this visa at the US Embassy in Bangkok. When you have the visa we can also reimburse you for any expense you incur in obtaining it. Original receipts would be required for any reimbursement.

We look forward to your visit.

Best regards,

A handwritten signature in blue ink that reads 'Paul Evenson'.

Paul Evenson
Professor

pae:xps



Department of Physics
& Astronomy

104 The Green
217 Sharp Lab
Newark, DE 19716-2570
Phone: 302-831-2661
Fax: 302-831-1637

April 12, 2018

Dr. Waraporn Nuntiyakul
Chiang Mai University
Department of Physics and Materials Science
Faculty of Science
239 Huaykaew Road,
Tumbol Suthep, Amphur Muang
Chiang Mai 50200 THAILAND

Dear Dr. Nuntiyakul:

Thank you for telling me that you will be in Wisconsin this summer. I hope you may also be able to visit us here in Delaware to discuss our ongoing collaboration. Pierre-Simon and I would very much like to hear of your work on the analysis of the Oden survey.

If you are able to visit us, we are prepared to pay your local expenses for a stay of approximately one week. We would also pay your travel expenses from Minneapolis. At your option we will provide you with a round trip air ticket to Philadelphia, or (with appropriate documentation) we will reimburse you for the additional expense of adding a stop in Philadelphia to your international ticket.

Please note that, in order for us to pay any of your expenses, you must have a minimum of a "B-1 Business" visa. You should be able to apply for this visa at the US Embassy in Bangkok. When you have the visa we can also reimburse you for any expense you incur in obtaining it. Original receipts would be required for any reimbursement.

We look forward to your visit.

Best regards,

A handwritten signature in blue ink that reads 'Paul Evenson'.

Paul Evenson
Professor

pae:xps

OUTPUT 2.6

สร้างและพัฒนาเว็บไซต์ www.antarcticthai.com และ Facebook Page:

Astronomy and Astrophysics Antarctic Research in Thailand

Website: www.antarcticthai.com (ภาษาอังกฤษ)

← → ↻

Not secure | www.antarcticthai.com

Apps

Email

University

Data


Bank

Google

Google

Index of /pyle/Othe...

SAO/NASA ADS Cu...



A.A.A.R.T.

Home

About Us

Our Research

Calendar

Activities

Members

Related Links

Join Us

Contact Us

ASTRONOMY AND ASTROPHYSICS ANTARCTIC RESEARCH IN THAILAND

BUILDING THAI ANTARCTIC ASTROPHYSICS AND ASTRONOMY AWARENESS AND OPPORTUNITIES


Home

Why the Antarctic research in Thailand would be important?

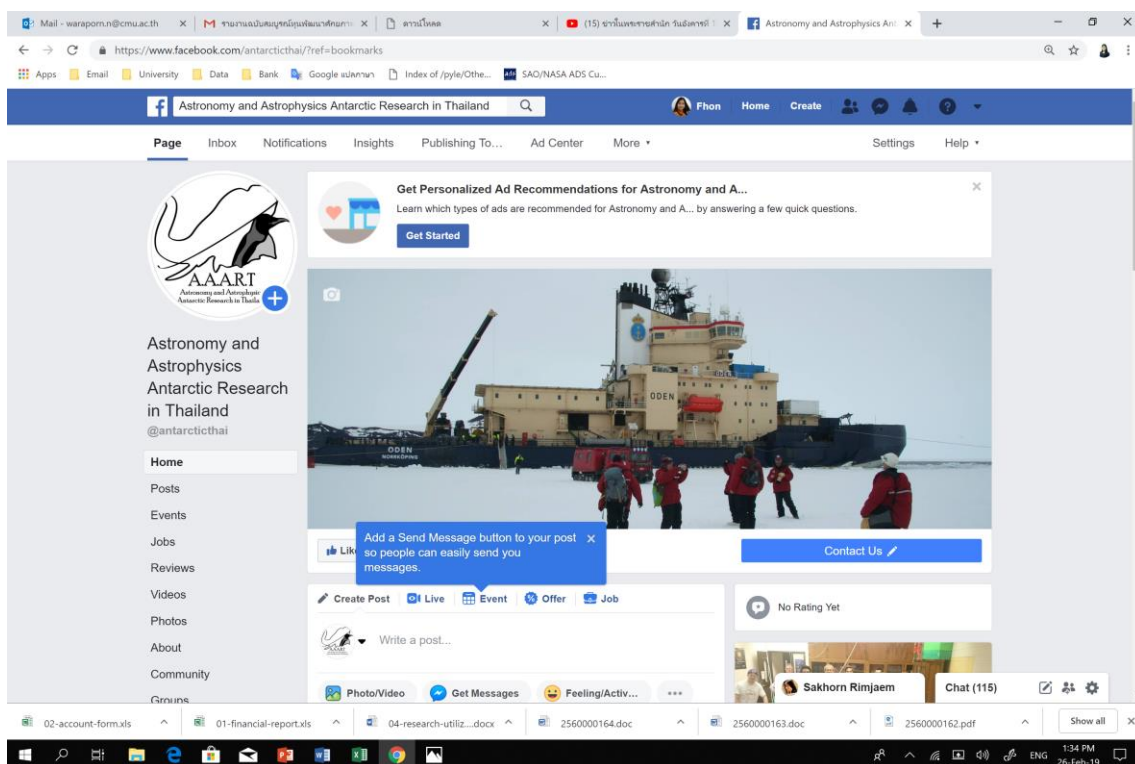
Thailand is not a country with a natural interest in cold climate research, nor is it geographically close to the Antarctic. It however has a population of approximately 70 million, with a rapidly growing industrial and technological economy. It is therefore important to maintain Antarctica pristine and exploit only for carefully controlled scientific purposes that Thai people are exposed to the reasons why Antarctic is so important for scientific research.

What are we doing? Why Antarctica?

Our group basically study about the Cosmic ray from space. There are unique geomagnetic and geographic features about Antarctica that allow cosmic ray studies that simply cannot be done elsewhere.



Facebook page: Astronomy and Astrophysics Antarctic Research in Thailand (ภาษาไทย)



เพิ่มโอกาสการเรียนรู้ทางฟิสิกส์ดาราศาสตร์ ของงานวิจัยไทยในแถบแอนตาร์กติกา

ASTRONOMY AND ASTROPHYSICS ANTARCTIC RESEARCH IN THAILAND · SUNDAY, DECEMBER 31, 2017

เราเป็นกลุ่มวิจัยที่มุ่งหานักเรียน/นักศึกษาไทยที่มีความสนใจและอยากที่จะเรียนรู้สิ่งใหม่ที่ไม่เห็นด้วยตาแต่ไม่ใช่ในชีวิตประจำวัน กลุ่มวิจัยเราศึกษาเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาคพลังงานสูงจากนอกโลกหรือรังสีคอสมิกที่เข้ามาในโลกของเรา ภายในระบบสุริยะของเราสภาพอวกาศได้รับอิทธิพลจากพายุสุริยะ ลมสุริยะและสนามแม่เหล็กระหว่างดาวเคราะห์ พายุสุริยะรุนแรงทำให้นักบินอวกาศได้รับกัมมันตรังสี ระบบไฟฟ้าดับ และระบบควบคุมอื่น ๆ เป็นต้น สภาพอวกาศอาจจะมีผลกระทบต่อนักบินอวกาศและสภาพภูมิอากาศบนดาวเคราะห์ แต่เนื่องจากเรายังไม่เข้าใจถึงอิทธิพลเหล่านี้บนโลกเท่าไร ดังนั้นการสำรวจภาคพื้นของอนุภาคพลังงานสูงจากดวงอาทิตย์โดยตรงจึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผลกระทบของสภาพอวกาศและการเปลี่ยนแปลงระยะสั้นในรังสีคอสมิกจากกาแล็กซีจึงเป็นตัวชี้วัดสำคัญของผลกระทบจากสนามแม่เหล็กระหว่างดาวเคราะห์ ซึ่งสนามแม่เหล็กโลกและบริเวณแถบแอนตาร์กติกา มีลักษณะเด่นเฉพาะที่ทำให้เราสามารถศึกษารังสีคอสมิกได้ง่ายกว่าบริเวณอื่น ๆ ทั่วโลก โดยเฉพาะพื้นที่ได้รับการสนับสนุนโดยทุนพัฒนาศักยภาพอาจารย์รุ่นใหม่ สกว สัญญาทุนเลขที่ MRG6080086

OUTPUT 3.1

W. Nuntiyakul, Analysis of Data from the 2009-10 Ship-Borne Bare Neutron Counter Latitude Survey (4th SCAR Astronomy and Astrophysics from Antarctica Meeting, Chiang Mai, August, 2017)

Analysis of Data from the 2009-10 Ship-Borne Bare Neutron Counter Latitude Survey

Waraporn Nuntiyakul

Chandrakasem Rajabhat University

Thailand

Within our solar system, space weather is influenced by the solar wind and the interplanetary magnetic field (IMF) carried by the solar wind plasma. Severe space weather storms can expose people to increased radiation levels, shut down electrical systems, and interfere with radio signals. Space weather probably effects the weather and climate on our planet but we do not yet have a precise understanding of the influence. Space weather can be monitored at ground level by indirectly observing changes in the interplanetary magnetic field with detectors that measure cosmic rays from the Sun and galactic sources. The specific objective of this research is to refine understanding of the detectors termed “bare neutron counters” which are now installed at the United States National Science Foundation station at the geographic South Pole. The main goal is to determine the response function of detectors using data collected on a latitude survey on the Swedish icebreaker Oden from Helsingborg, Sweden to McMurdo, Antarctica and back from November of 2009 to April of 2010. Initial results on the data due to pressure variations and short-term variations in modulation level over the course of survey based on variations in the McMurdo count rate are reported. Supported in part by the Thailand Research Fund via Research Grant for New Scholar MRG6080086 and Research Team Promotion Grant RTA5980003.

OUTPUT 3.2

W. Nuntiyakul, J. Bieber, J. Clem, P. Evenson, T. Gaisser, A. Hallgren, J. Madsen, P.-S. Mangeard, R. Pyle, D. Ruffolo, A. Sáiz, S. Seunarine, S. Tilav, Solar Energetic Particle Spectra using Neutron Detectors at South Pole (POLAR 2018 Conference, Davos, Switzerland, June, 2018)



Solar Energetic Particle Spectra using Neutron Detectors at South Pole

Waraporn Nuntiyakul^{1,2}, John Bieber³, John Clem³, Paul Evenson³, Tom Gaisser³, Allan Hallgren⁴, Jim Madsen⁵, Pierre-Simon Mangeard³, Roger Pyle⁷, David Ruffolo⁶, Alejandro Saiz⁶, Surujdeo Seunarine⁵ and Serap Tilav³

¹Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

²National Astronomical Research Institute of Thailand (NARIT), Chiang Mai 50200, Thailand

³Bartol Research Institute and Department of Physics and Astronomy, University of Delaware, Newark, DE 19716, USA

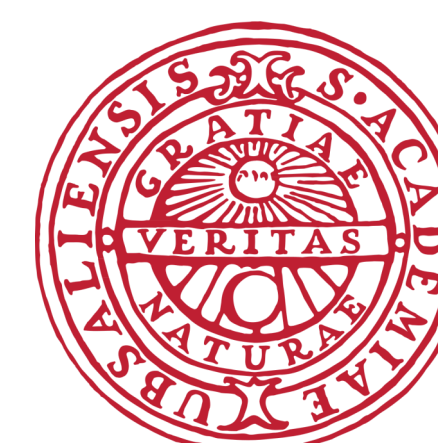
⁴Department of Physics and Astronomy, Uppsala University, Sweden, Box 516, S-75120 Uppsala, Sweden

⁵Department of Physics, University of Wisconsin-River Falls, River Falls, WI 54022, USA

⁶Department of Physics, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand

⁷Pyle Consulting Group, Inc., St. Charles, IL 60174, USA

E-mail: waraporn.n@cmu.ac.th; Tel.: +66 86 789 9404



ABSTRACT

Neutron monitors are ground-level detectors of cosmic ray-induced atmospheric secondary particles (mostly neutrons) that are employed world-wide to study variations in the flux of galactic cosmic rays and solar energetic particles in the GeV regime. The neutron monitor standard design (NM64) minimizes detector response to neutrons below ~10 MeV produced by cosmic ray interactions in the ambient medium. Bare detectors or simply “bares”, which lack the lead and polyethylene of NM64 monitors, detect such neutrons and therefore respond on average to cosmic rays of lower energy. The array of NM64 and bares at the South Pole has been used for many years to measure solar energetic particle spectra relying primarily on relative response functions derived from a single latitude survey in 1976. We have recently completed analysis of a second survey from November, 1995 to February, 1996 from three bares operated together with a 3NM64. The solar modulation conditions in 1995 and 1996 were remarkably similar but the results from the 1995-6 survey differ significantly from the interpretation of the 1976 survey most commonly used for the determination of solar particle spectra. We present results from another survey from November, 2009 to April, 2010 with two bares that are now installed at the South Pole. A significant correction to the 2009 data due to highly different modulation conditions, and implications for interpretation of solar energetic particle spectra will be discussed.

INTRODUCTION

Ground level cosmic ray detectors respond to the primary particles by detecting atmospheric secondary particles. The relation between the primary flux and the detected particles is most fundamentally expressed by the **yield function**, which is basically an energy dependent effective area. Another key concept is the **differential response function (DRF)** which is the product of the primary particle spectrum (G), modulation function (M), and the yield function (YF). The DRF is defined as the negative of the derivative of the count rate as a function of local geomagnetic cutoff rigidity (P_c), expressed in momentum per charge, and measured in GV. The Dorman analysis for determining the response function [Dorman *et al.*, 1969] utilizes a parameterized fit to pressure-corrected data as a function of apparent geomagnetic cutoff rigidity. The **Dorman function** is given by:

$$N(P_c) = N_0 \left(1 - e^{-\alpha P_c^\kappa}\right), \quad (1)$$

where N_0 is the count rate at low P_c , and α and κ are unphysical fit parameters that provide an excellent representation of the integral response function N , which can be analytically differentiated to describe the DRF :

$$N(P_c) = \int_{P_c}^{\infty} DRF(P) dP, \quad (2)$$

$$DRF(P) = N_0 \alpha P^{-\kappa-1} \kappa e^{-\alpha P^\kappa}. \quad (3)$$

We can relate the DRF to $G_i(P)$, $M_i(P, t)$, and $YF_i(P, h)$ for primary particles of each type i :

$$DRF(P) = - \left[\frac{dN}{dP_c} \right]_P = \sum_i G_i(P) M_i(P, t) YF_i(P, h). \quad (4)$$

DATA REDUCTION

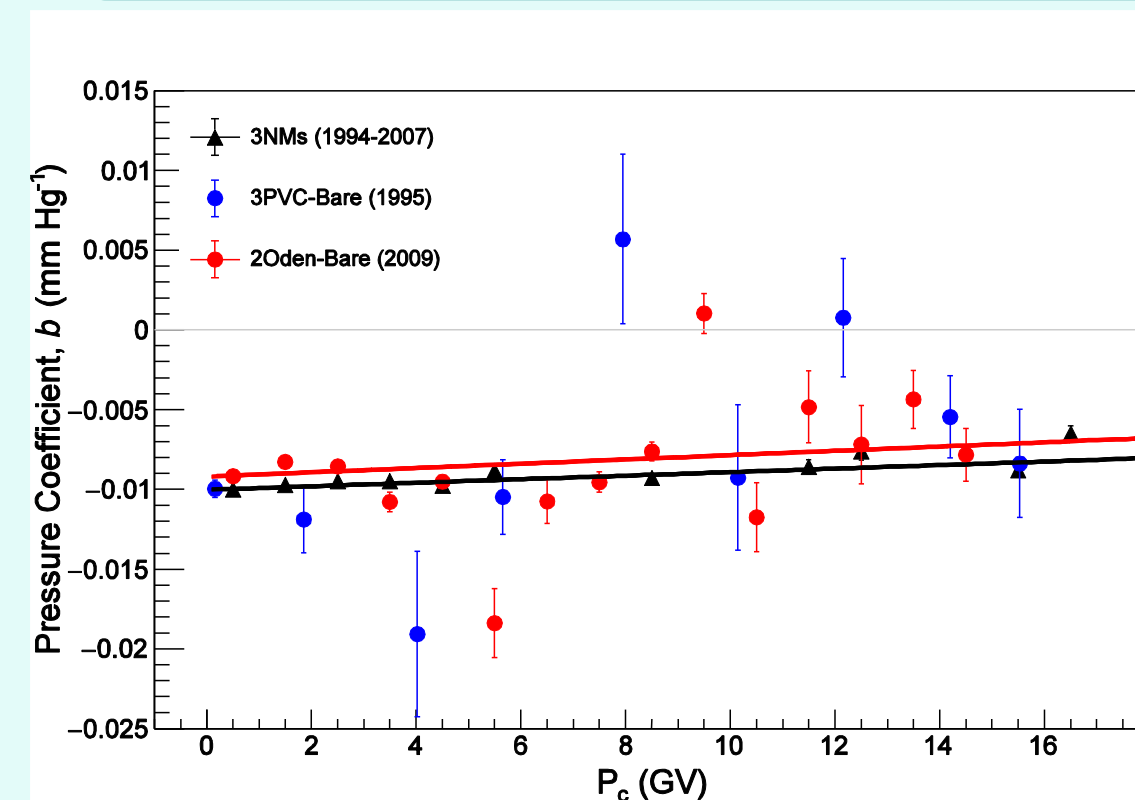


Figure 3 Pressure coefficient b (mmHg^{-1}) as a function of apparent geomagnetic cutoff rigidity P_c . Black triangles and line: 3NM64, 13 years of summed data [Nuntiyakul *et al.*, 2014]. Blue circles: Three bare counters, 1995 data. Red circles and line: Two bare counters, 2009 data. Vertical error bars represent the standard error of pressure coefficient deduced from the scatter of the points. The 2009 results imply b vs. P_c that is similar to that inferred from 3NM64 data. For the 1995 and 2009 analyses we have corrected bare data with the well-determined coefficient from the 13 year dataset for the 3NM64.

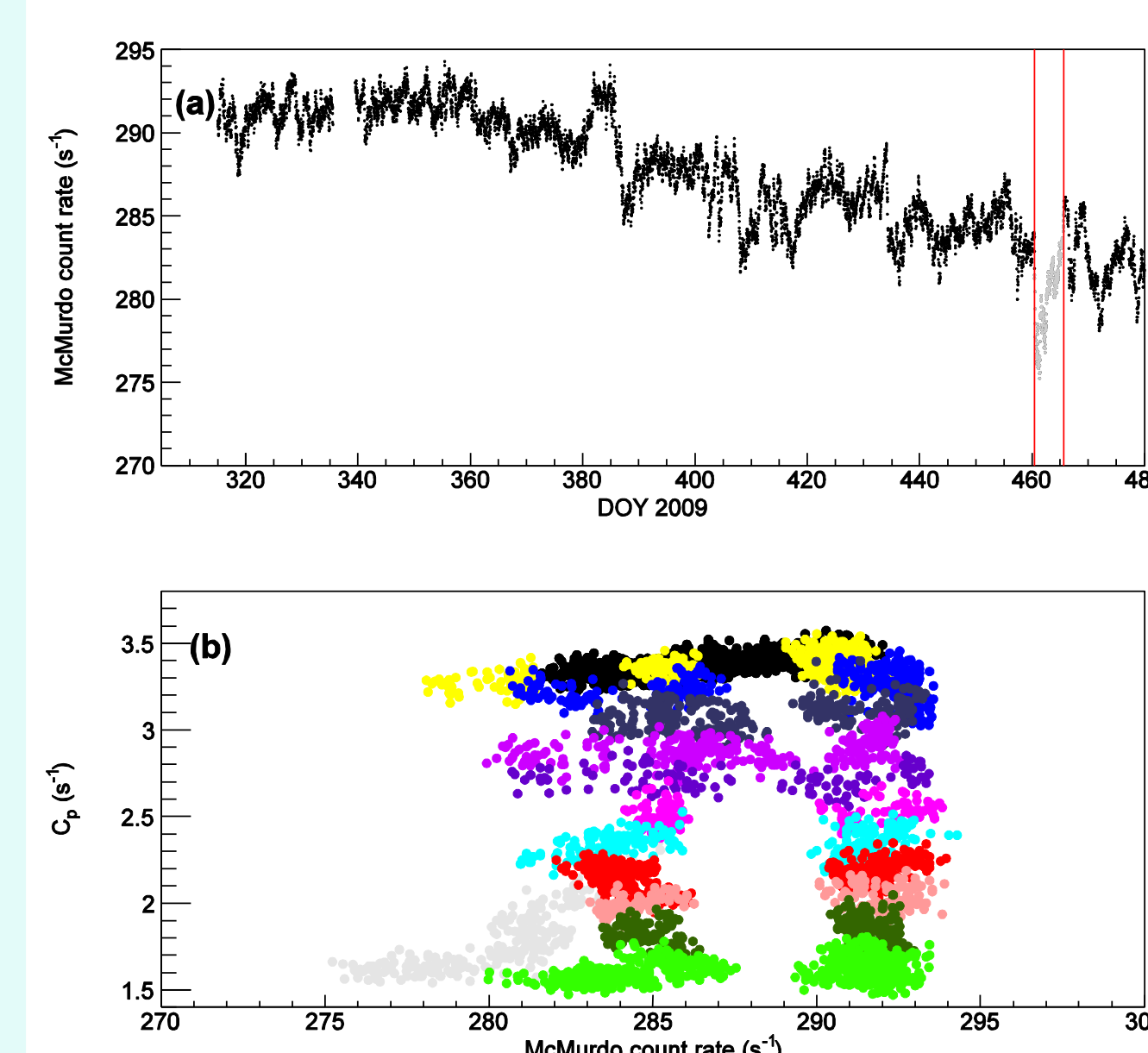


Figure 4 (a) McMurdo count rate vs. time. (b) Paraffin-wax bare count rate corrected for pressure vs. McMurdo count rate. The gray data points indicated Forbush Decrease event. Linear trend of count rates in different cutoff rigidity bins against the count rate of the McMurdo monitor.

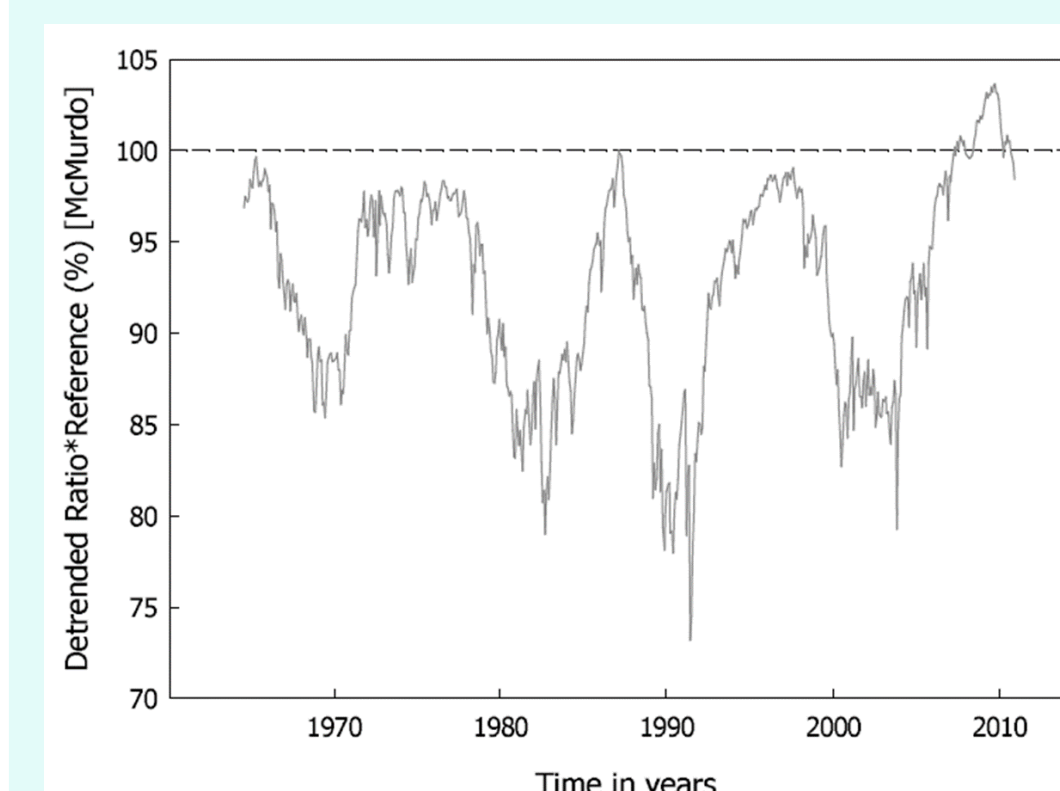


Figure 5 Detrended count rates at McMurdo NM station, normalized to 100% on 14 February 1987 from Oh *et al.* (2013).

OBSERVATIONS

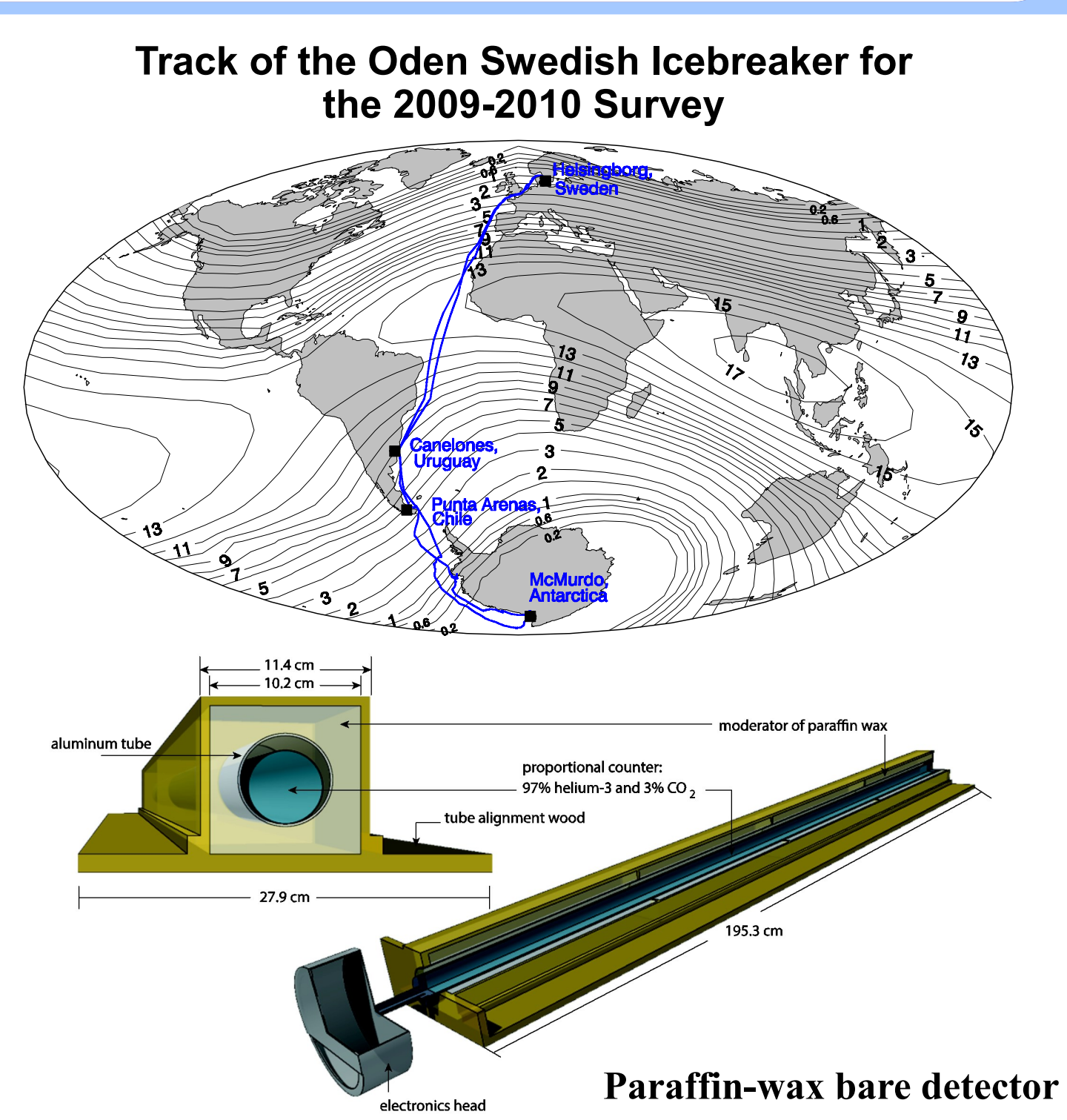
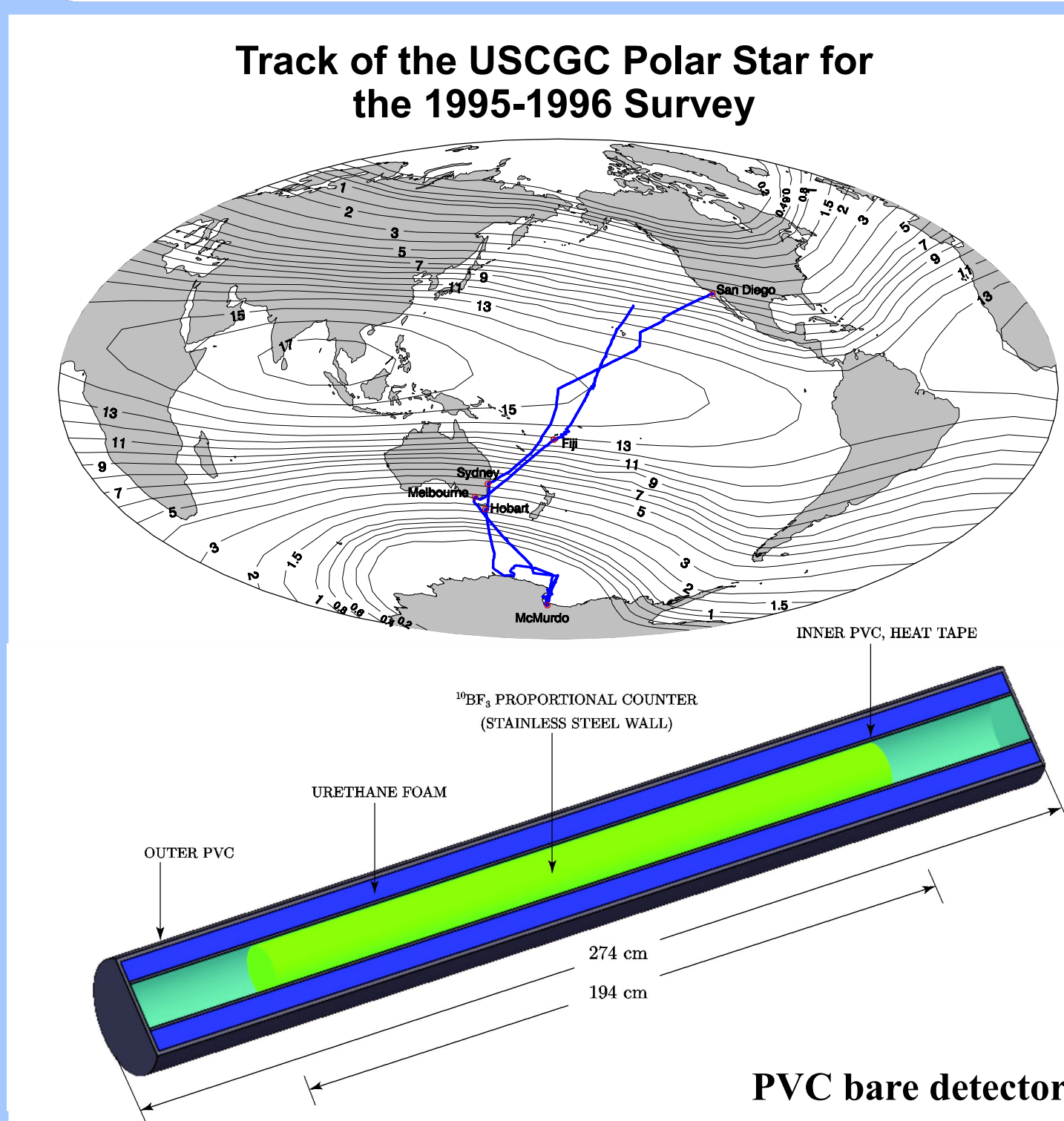
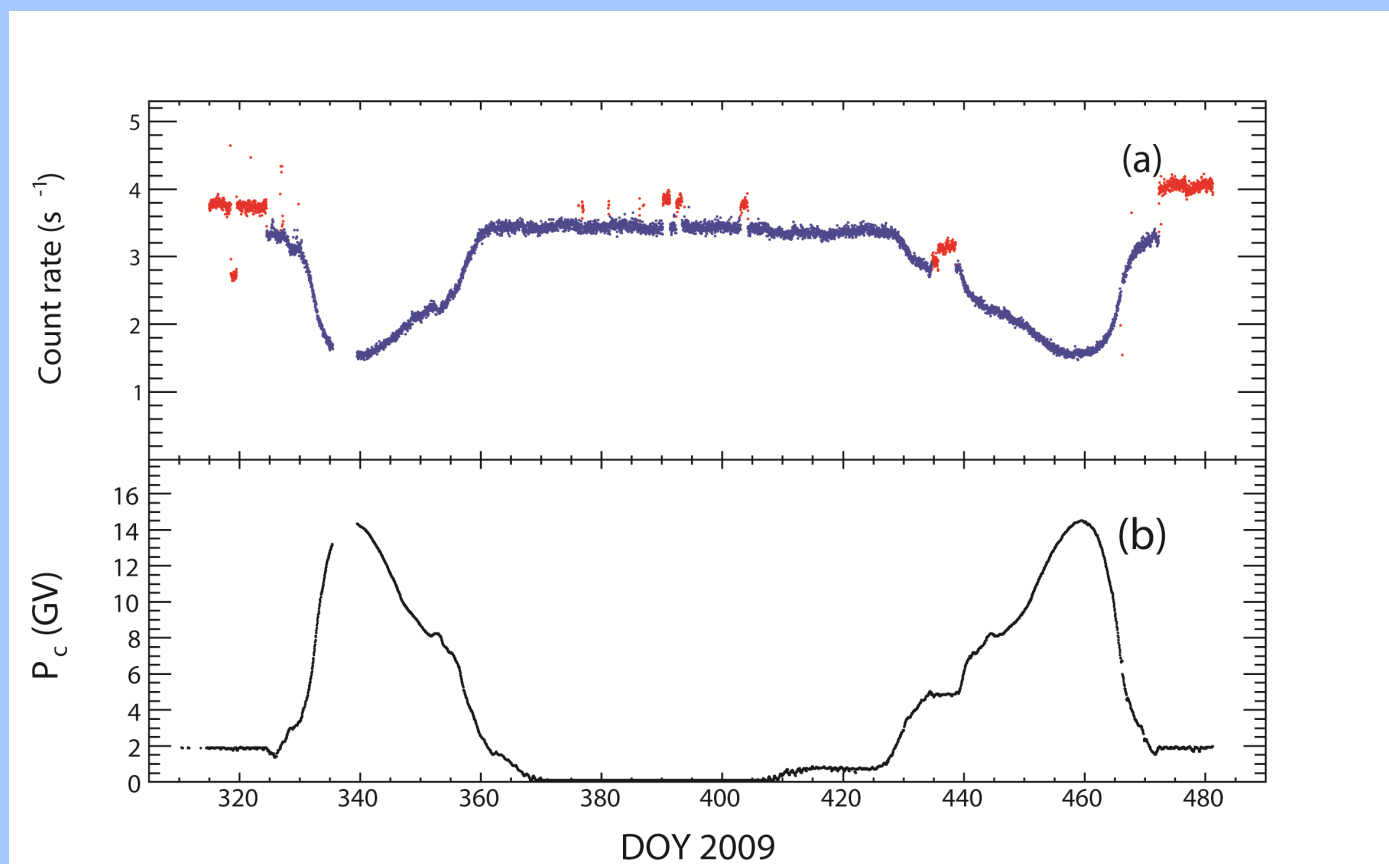


Figure 1 Each white-background block illustrates the route of a survey, superimposed on contours of vertical cutoff rigidity. Numbers give vertical cutoff rigidity in GV. The 1995-6 latitude survey employed two types of neutron detectors, three PVC bare detectors and a standard 3NM64, whereas the 2009-10



latitude survey employed two Paraffin-wax bare detectors and the IceTop tanks now installed at the Geographic South Pole, which are important for monitoring solar energetic particle (SEP) events.

Figure 2 Example of data for the 2009-10 survey year: (a) Counting rate corrected for barometric pressure of the paraffin-wax bare detectors. Blue points indicated the data when the ship was in the ocean. Red points indicated the data at the port calls. (b) Geomagnetic cutoff rigidity in GV as a function of time.

RESULTS

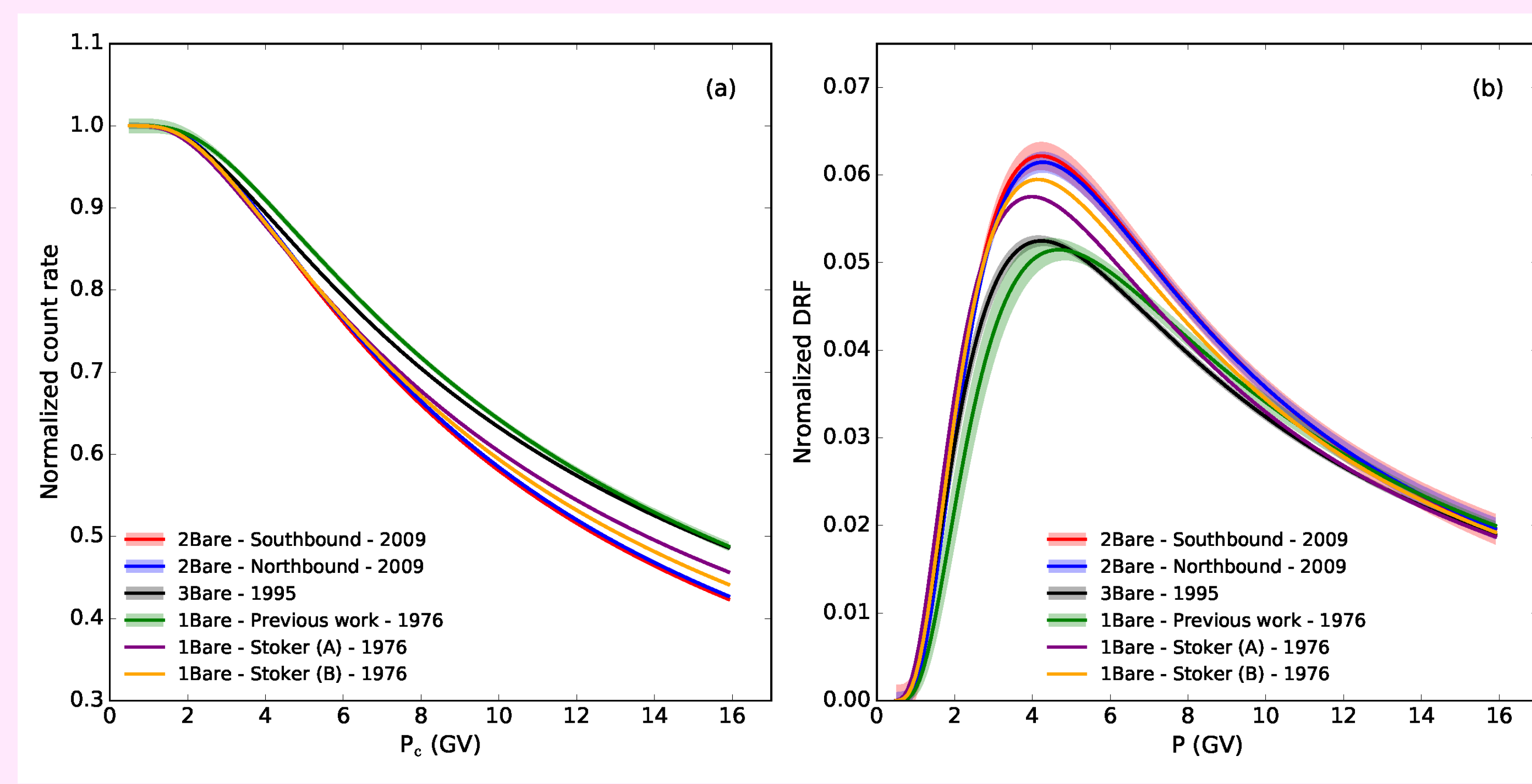


Figure 6 (a) Dorman function fits to data for three bare counter surveys. (b) Comparison of normalized differential response functions for the 1976, 1995 and 2009 surveys for the bare neutron detectors. Our best estimates of the Pole yield function for bares and monitors using all available data: To date all of our papers have been based on one latitude survey, conducted in 1976 by a South African group. Specifically we have used an interpretation of the data published by Stoker (1985) with few details of his data fitting method. He gives two “limiting cases” of his analysis – the solid lines (without error shading) in the figure, called Stoker-A and Stoker-B. The result of the 1995 survey is shown by the black curve (3Bare – 1995). The differential response function depends on the cosmic ray spectrum. It turns out that the modulation conditions in 1995 and 1976 were remarkably similar. The result is the green curve (1Bare – Previous work – 1976) which is virtually identical to our measurement in 1995. The 2009 survey data analysis is preliminary. The first results are shown in the red and blue curves (2Bare – this work – 2009) representing the Southbound and Northbound trips. At this point a direct comparison with the earlier data is impossible because 2009 had highly different modulation conditions – a “record high” at low energy and a primary cosmic ray spectral shape that was also highly unusual.

CONCLUSIONS & FUTURE PLAN

To understand the fundamental properties of the bare counters we must develop corrections for three different solar modulation effects. (1) Overall flux levels are higher in 2009. (2) Particle spectral shapes have changed more than one would expect from, for example, the force-field model. (3) Solar magnetic polarity in 2009 is opposite to that in 1976 and 1995. We plan to develop new electronics to do absolute timing and minimize dead time for a neutron monitor latitude survey in 2019 collaborating with the National Astronomical Research Institute of Thailand (NARIT) and CAA of China. Supported in part by the Thailand Research Fund via Grant RTA5980003, Research Grant for New Scholar MRG6080086, and SCAR AAA group.

REFERENCES

- Nuntiyakul, W., P. Evenson, D. Ruffolo, A. Sáiz, J. W. Bieber, J. Clem, *et al.* (2014), Latitude survey investigation of Galactic cosmic ray solar modulation during 1994–2007, *Astrophys. J.*, **795**, 11
- Oh, S., J. W. Bieber, P. Evenson, J. Clem, and Y. Yi (2013), Record neutron monitor rates from galactic cosmic rays, *J. Geophys. Res. Space Physics*, **118**, 5431-5436
- Stoker, P. H. (1985), Spectra of solar proton ground level events using neutron monitor and neutron moderated detector recordings, in *Proc. 19th Int. Cosmic Ray Conf.*, vol. 4, pp114-117

OUTPUT 3.3

W. Nuntiyakul, Response Functions of Neutron Counters to Cosmic Rays from Latitude Survey Technique (Oral presentation, Asian Forum for Polar Sciences, Xiamen, China, October, 2018)

Polar Research Institute of China

Address: 451 Jinqiao Road, Shanghai 200136, China

Fax: +86-21-58711663



Dr. Waraporn Nuntiyakul

Department of Physics and Materials Science, Chiang Mai University
239 Huay Keaw Road, Muang, Chiang Mai, 50200, Thailand

Subject: Invitation to visit Polar Research Institute of China

Dear Dr. Waraporn Nuntiyakul

The Latitude Survey Project (LSP) is a joint scientific research project between National Astronomical Research Institute of Thailand, Chiang Mai University, Polar Research Institute of China and University of Delaware. The project aims to investigate changes in magnetic fields in the solar wind and in the magnetosphere of the Earth, via measurements of neutrons in the cascade reactions produced by primary cosmic rays entering the upper atmosphere along the path from Shanghai to Antarctica. LSP has been approved, by China Arctic and Antarctic Administration, State Oceanic Administration, as a scientific research project of the 35th Chinese Antarctic Expedition. We plan to install the instruments of LSP onto "Xuelong" icebreaker around the end of October.

Since you are the key scientist of LSP, I am writing to invite you to visit Polar Research Institute of China to discuss the procedures of installation and operation of LSP instruments. The suggested schedule is as following: 10th October to 15th October for discussion with related scientists attending Asian Forum for Polar Sciences held in Xiamen; 20th October to 31st October for equipment installation in Shanghai. I understand that the cost of your international flights, accommodation and local expenses in China is fully covered by Chiang Mai University.

I am looking forward to meeting you in Xiamen and Shanghai.

Sincerely yours,

Peng Jiang Associate Professor
Antarctic Astronomy Division, Polar Research Institute of China
E-mail: jiangpeng@pric.org.cn Tel: 0086-21-50366419

07 Oct 2018

passport and personal information:

Nuntiyakul, Waraporn

Passport no: AA6398141; Issue date: 11 MAY 2016; Expiry date: 10 MAY 2021

Gender: Female

Date of birth: 13 AUG 1981

OUTPUT 3.4

W. Nuntiyakul, โครงการการสำรวจการตัดข้ามละติจูด (Oral presentation, การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 44 (วทท), บางนา, ประเทศไทย, ตุลาคม, 2018)

ที่ วทท 44 / 019 / 2561

25 ตุลาคม 2561

เรื่อง ขอเรียนเชิญเข้าร่วมงานและเป็นผู้บรรยายพิเศษของการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 44 (วทท 44)

เรียน ดร.วราภรณ์ นันทียกุล

ด้วยสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ได้กำหนดให้มีการจัดประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 44 (วทท 44) ระหว่างวันที่ 29 - 31 ตุลาคม 2561 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา ภายใต้หัวข้อ “วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีในยุคพลิกผัน” (Science and Technology in the Disruptive Era) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้อาจารย์ นักวิจัย นักวิทยาศาสตร์ นักวิชาการ นิสิต นักศึกษา รวมถึงผู้สนใจทั้งภายในและต่างประเทศ ได้มีโอกาสนำเสนอผลงานวิจัย และเข้าร่วมประชุมเพื่อรับฟังข้อมูลใหม่ๆ และแลกเปลี่ยนความคิดเห็นร่วมกับนักวิทยาศาสตร์ทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศ โดยได้รับพระมหากรุณาธิคุณจาก สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เนื่องในวโรกาสเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จเยือนแอนตาร์กติกา ครบรอบ 25 ปี และสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ครบรอบ 70 ปี แห่งการก่อตั้ง เสด็จเป็นองค์ประธานเปิดงาน และทรงบรรยายพิเศษเกี่ยวกับประสบการณ์การเสด็จฯ แอนตาร์กติกา และแนวพระราชดำริด้านวิทยาศาสตร์ชีวโลกตามพระราชอัธยาศัย ในวันที่ 29 ตุลาคม 2561 เวลา 9.00 น. ณ ห้องแกรนด์ฮอลล์ 201-203 ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา

ในการนี้ สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความเหมาะสม ทั้งด้านความรู้ ความสามารถและประสบการณ์ จึงขอเรียนเชิญท่านเป็นผู้บรรยายพิเศษในวันที่ 30 ตุลาคม 2561 เวลา 9:00-10:30 น. ณ ห้อง GH202 ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา ทั้งนี้ สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ ได้มีบันทึกขออนุมัติต้นสังกัดของท่านแล้ว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ



(รองศาสตราจารย์ ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

ประธานจัดการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 44