

Autoreferat

1. Imię i nazwisko.

Marek Siłuszyk

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

Doktor nauk fizycznych w zakresie fizyki, Wydział Fizyki i Chemii, Uniwersytet Łódzki, Łódź: **2004**.

Rozprawa doktorska: „*Modelowanie anizotropowej dyfuzji galaktycznego promieniowania kosmicznego w przestrzeni międzyplanetarnej na podstawie danych eksperymentalnych*”.

Magister matematyki, w zakresie matematyki z fizyką, specjalność nauczycielska, Wydział Chemiczno- Matematyczny, Wyższa Szkoła Rolniczo-Pedagogiczna w Siedlcach, Siedlce: **1999**.

Praca magisterska: „*Problem warunków brzegowych równania różniczkowego opisującego modulację promieniowania kosmicznego w przestrzeni międzyplanetarnej*”

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

- 2019 – 2021; starszy wykładowca, Pracownia Przedmiotów Ścisłych, Lotnicza Akademia Wojskowa w Dęblinie,
- 2018 – 2021; adiunkt naukowy, Instytut Matematyki, Wydział Nauk Ścisłych i Przyrodniczych, Uniwersytet Przyrodniczo–Humanistyczny w Siedlcach,
- 2016 – 2018; Post–Doc – staż naukowy, AGH, Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki w Krakowie,
- 2007– 2014; starszy wykładowca, kierownik katedry matematyki i informatyki, Collegium Mazovia Innowacyjna Szkoła Wyższa w Siedlcach,
- 2005 – 2016; adiunkt, Instytut Matematyki i Fizyki Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach,
- 1999 – 2005; asystent, Instytut Matematyki i Fizyki, Akademia Podlaska w Siedlcach,

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Aspekty długookresowej zmienności natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego

4.2. Spis prac składających się na osiągnięcie naukowe oraz ocena wkładu własnego (wg porządku chronologicznego ukazywania się):

- [H1] **Siluszyk M.**, Iskra K., Modzelewska R., Alania M.V., Features of the 11-year variation of galactic cosmic rays in different periods of solar magnetic cycles, *ADVANCES IN SPACE RESEARCH*, vol. 35, iss. 4, s. 677-681 - ISSN 0273-1177, DOI: 10.1016/j.asr.2005.02.037, IF: **0.706**, (2005)
- [H2] Alania, M. V., Iskra, K., **Siluszyk. M.**, New index of long-term variations of galactic cosmic ray intensity, *ADVANCES IN SPACE RESEARCH.*, vol. 41, iss. 2, s. 267-274 - ISSN 0273-1177, DOI: 10.1016/j.asr.2007.03.010, IF: **0.860**, (2008)
- [H3] **Siluszyk M.**, Wawrzynczak A., Alania M.V., A model of the long period galactic cosmic ray variations, *JOURNAL OF ATMOSPHERIC AND SOLAR-TERRESTRIAL PHYSICS.* - Vol. 73, iss. 13, s. 1923-1929. - ISSN 1364-6826, DOI: 10.1016/j.jastp.2011.05.003, IF: **1.596**, (2011)
- [H4] **Siluszyk M.**, Iskra K., Alania, M.V., Rigidity dependence of the long period variations of galactic cosmic ray intensity: a relation with the interplanetary magnetic field turbulence for 1968–2002, *SOLAR PHYSICS.*, Vol. 289, iss. 11, s. 4297-4308. - ISSN 0038-0938, 1573-093X, DOI: 10.1007/s11207-014-0573-z, IF: **4.039**, (2014)
- [H5] **Siluszyk M.**, Iskra K., Alania, M.V., 2-D Modelling of Long Period Variations of Galactic Cosmic Ray Intensity *JOURNAL OF PHYSICS. CONFERENCE SERIES.* - Vol. 632 012080, s. 1-8 - ISSN 1742-6588, 1742-6596. DOI: 10.1088/1742-6596/632/1/012080, IS: **0.52**, (2015)
- [H6] **Siluszyk M.**, Iskra K., Alania, M.V., Miernicki S., Interplanetary Magnetic Field Turbulence and Rigidity Spectrum of the Galactic Cosmic Rays Intensity Variation (1968-2012), *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, Vol. 123, 1, s. 30-38. - ISSN 0148-0227, 2169-9402, DOI: 10.1002/2017JA023994, 2018 ; IF: **2.821**, (2018)
- [H7] Iskra K., **Siluszyk M.**, Alania, M.V., Wozniak W., Experimental Investigation of the Delay Time in Galactic Cosmic Rays Flux in Different Epochs of Solar Magnetic Cycles: 1959–2014, *SOLAR PHYSICS.* - Vol. 294, 115, s. 1-14. - ISSN 0038-0938, 1573-093X; DOI: 10.1007/s11207-019-1509-4; IF: **2.503**, (2019)
- [H8] **Siluszyk M.**, K Iskra, Modeling the Time Delay Problem of Galactic Cosmic Ray Flux in Solar Cycles 21 and 23, *SOLAR PHYSICS.* - Vol 295, iss. 5, 68. - ISSN 0038-0938; DOI: 10.1007/s11207-020-01628-w; IF: **2.671**, (2020)

4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

4.3.1. Wstęp

Na naszą planetę ciągle dociera strumień naładowanych cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego w skrócie GCR (ang. Galactic Cosmic Rays), w skład, którego wchodzi głównie protony, ~90%; ~9% stanowią cząstki α , a pozostałą niewielką część to elektrony oraz jądra cięższych pierwiastków. Badania wykazały, że docierające do Ziemi promieniowanie kosmiczne pochodzi zarówno z naszej galaktyki, jak również z przestrzeni znajdującej się poza naszą galaktyką, natomiast źródłem GCR w niskim zakresie energetycznym jest Słońce.

Za ostateczną datę potwierdzającą istnienie galaktycznego promieniowania można przyjąć rok 1912, kiedy to podczas lotu balonem przyrządy pokazały, że jego wartość wzrasta wraz ze wzrostem wysokości, co było przełomowym krokiem w badaniu promieniowania, gdyż wszystkie dotychczasowe wyniki sugerowały jego ziemskie pochodzenie.

Podczas ponad stuletnich badań nad zmiennością natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego zauważona została jej cykliczność, co przyczyniło się do określenia i klasyfikacji zmienności na krótko- oraz długookresową zmianę natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego. Do krótkookresowych zmian natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego zalicza się zmiany dobowe, tj. słoneczna anizotropia oraz zmiany 27-dniowe, z kolei do zmian długookresowych zaliczamy zmiany z cyklem 11- i 22-letnim. Zauważono również sporadyczne zmiany natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego, określane, jako spadki Forbush'a, w skrócie FD (ang. Forbush Decreases) (np. Forbush, 1946).

Własności długookresowych zmienności natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego są badane od wielu lat, na podstawie danych rejestrowanych między innymi za pomocą monitorów neutronowych, w skrócie NM (ang. Neutron Monitor), teleskopów mionowych.

Głównym zadaniem monitorów neutronowych jest pomiar natężenia pierwotnego promieniowania kosmicznego, które jest unikalnym źródłem informacji o warunkach panujących w przestrzeni międzyplanetarnej. Po drugie monitory neutronowe mierzą wtórne promieniowanie kosmiczne, a dokładniej neutronową składową kaskady atmosferycznej zainicjowaną przez pierwotną cząstkę galaktycznego promieniowania kosmicznego (np. Moraal i in., 2000).

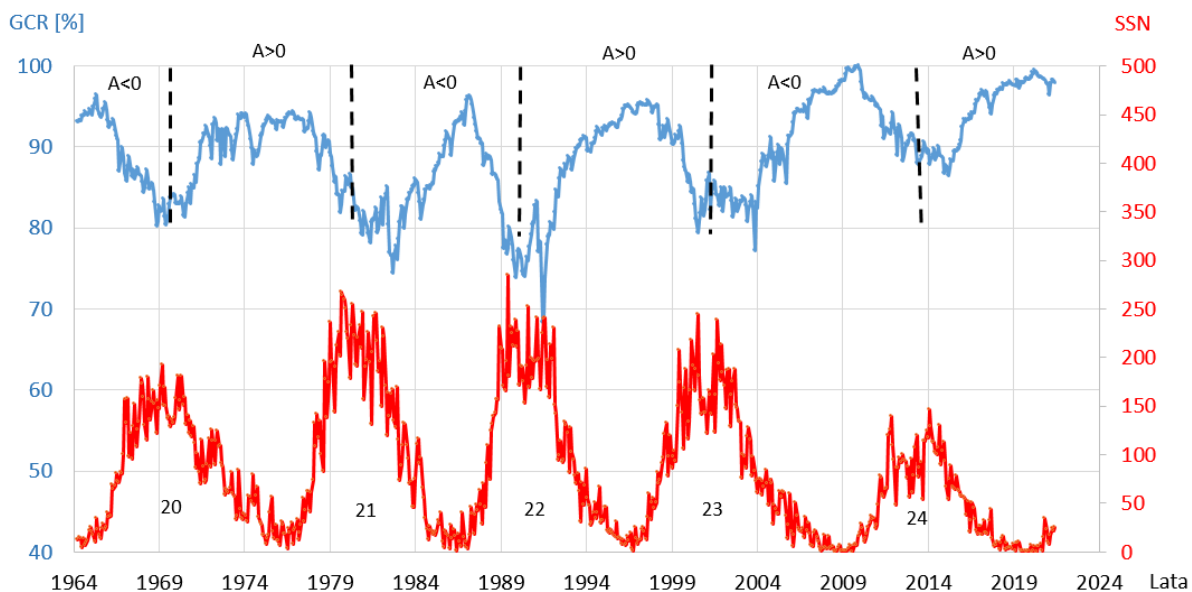
Cząstki galaktycznego promieniowania kosmicznego rejestrowane są również w atmosferze ziemskiej z użyciem balonów, a w przestrzeni międzyplanetarnej bliskiej i dalekiej za pomocą urządzeń umieszczonych na sondach kosmicznych (np. Bazilevskaya i Svirzhetskaya 1998).

W pracy Modzelewska i in. (2020) na podstawie pomiarów ze spektrometrów PAMELA i ARINA, zostały zbadane 27-dniowe zmiany natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego w latach 2007-2008 w szerokim zakresie sztywności od 300 MV do kilku GV. W badaniach teoretycznych zostały uwzględniane dane z eksperymentów kosmicznych PAMELA i AMS 02, w symulacji numerycznej dla cząstek o energiach poniżej 50 GeV (np. Aslam i in., 2021).

Pomimo bardzo intensywnie prowadzonych badań naukowych, odkrywaniu i opisaniu różnych własności promieniowania kosmicznego, zarówno na drodze eksperymentalnej jak również z wykorzystaniem matematycznego modelowania, nadal wiele aspektów określających natężenie galaktycznego promieniowania kosmicznego jest niewyjaśnionych, np. nadal trwają badania nad określeniem parametru lub grupy parametrów odpowiadających między innymi za zmienności amplitudy galaktycznego promieniowania kosmicznego.

Badania nad 11-letnią zmiennością galaktycznego promieniowania kosmicznego pokazały, że w 75% zmiany amplitudy długookresowej wariacji galaktycznego promieniowania kosmicznego można wyjaśnić przy użyciu prostego modelu dyfuzyjno-konwekcyjnego, który opisuje

rozchodzenie się cząstek w Heliosferze (Dorman i Dorman, 1967). Zostało również pokazane, że w przypadku stałej wartości prędkości wiatru słonecznego, w skrócie SW (ang. Solar Wind), główną rolę w powstawaniu 11-letniej zmienności galaktycznego promieniowania kosmicznego można przypisać zmianom współczynnika dyfuzji w różnych okresach słonecznej aktywności, w skrócie SA (ang. Solar Activity). Zatem, istotnym źródłem 11-letniej zmienności galaktycznego promieniowania kosmicznego są zmiany charakteru dyfuzji cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego (np. Alania, Iskra, **Siluszyk**, 2008)



Rysunek. 1. Natężenie strumienia cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego rejestrowane przez monitor neutronowy w Oulu [normalizacja 100% -grudzień 2009] w zestawieniu z liczbą plam słonecznych, dane miesięczne (źródła: <https://cosmicrays oulu.fi/>, <https://wwwbis.sidc.be/silso/home>). Oznaczenia (A<0) i (A>0) określają odpowiednio negatywne i pozytywne polarności pola magnetycznego Słońca. Numeracja od 20 do 24 określa cykle słonecznej aktywności w latach 1964-2021.

Na Rys. 1. można zaobserwować zmianę natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego w latach 1964-2021, która została zarejestrowana przez monitor neutronowy w Oulu, dla którego próg lokalnej sztywności geomagnetycznej, tzw., sztywnościową próg obciążenia, wynosi $R_c=0.8GV$. Wyznaczenie progu obciążenia zostało przedstawione np. w pracy Wozniak, Iskra, **Siluszyk** i inni, 2019.

Podstawową okresowością obserwowaną za pomocą monitorów neutronowych jest cykl 11-letni, będący odbiciem słonecznego cyklu Schwebego, charakteryzującego się kolejnymi okresami wzmożonej słonecznej aktywności powtarzającymi się okresowo, co około 11 lat. Cykl trwający w latach 1755-1766 został oznaczony numerem 1, tą numeracją wprowadził Rudolf Wolf, aktualny 25 cykl rozpoczął się w grudniu 2019 (numeracja ostatnich (20 -24) cykli słonecznej aktywności została przedstawiona na Rys. 1.

Pomiędzy liczbą plam słonecznych SSN (ang. SunSpot Number), które pokazują słoneczną aktywność, a zmiennością galaktycznego promieniowania kosmicznego zachodzi bardzo wysoka anty-korelacja od -0.70 do -0.90; (np. Forbush, 1954; Agarwal 2008), co pokazuje Rys. 1.

Charakterystycznym długookresowym cyklem jest cykl 22-letni, związany ze zmianą polarności pola magnetycznego Słońca. W pierwszej części tego cyklu tj. w ciągu pierwszych 11 lat, kierunek pola magnetycznego jest stały, natomiast w pobliżu okresu maksimum słonecznej aktywności następuje zjawisko tzw. przebiegunowania. W trakcie cykli magnetycznych o tzw. pozytywnej polarności (A>0) linie pola wychodzą z północnego bieguna Słońca i wracają ku

południowemu biegunowi, zaś w trakcie cykli o polarności ujemnej ($A < 0$) kierunek linii sił pola jest przeciwny. W pomiarach monitorów neutronowych przedstawionych na wykresie Rysunek 1, widoczne jest to, jako tzw. „pick” podczas minimum cyklu o ujemnej polarności ($A < 0$), np. lata: 1965, 1987 i 2009; natomiast, jako „plateau” podczas minimum o polarności dodatniej ($A > 0$), np. lata: 1975, 1997 i 2020 [Rys. 1] (np. Mursula i Ulich, 1998).

Światowa sieć monitorów neutronowych składa się z około 50 monitorów neutronowych, które rozmieszczone są na powierzchni całej Ziemi. Monitory neutronowe rejestrują cząstki w szerokim zakresie energii tj. od $\sim 1\text{GeV}$ do $\sim 25\text{GeV}$, a pozyskane dane są używane w badaniu procesów propagacji i modulacji galaktycznego promieniowania kosmicznego w polu magnetycznym heliosfery, w skrócie HMF (ang. Heliospheric Magnetic Field) (np. Büttikofer, 2018).

4.3.2. Wprowadzenie

Cykl przedstawionych publikacji [H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7 i H8] wchodzących w skład osiągnięcia naukowego stanowi spójny przegląd wyników badań poświęconych długookresowym zmianom natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego podstawie:

- eksperymentalnych danych składowych neutronowej i mezonowej galaktycznego promieniowania kosmicznego uzyskanych za pomocą naziemnych stacji monitorów neutronowych i teleskopów mionowych [H1, H2, H4, H6, H7]
- teoretycznych modeli propagacji cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego w przestrzeni międzyplanetarnej [H3, H5, H8].

Aktualność tematyki badania długookresowych zmian natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego daje wyjątkową możliwość śledzenia i przewidywania procesów zachodzących w przestrzeni międzyplanetarnej. Problem ten jest złożony i ważny, a przede wszystkim, aktualny z punktu widzenia wpływu tych procesów na magnetosferę, atmosferę i biosferę Ziemi.

W wybranych pracach [H1 - H8] zbadano wielkoskalową strukturę pola magnetycznym heliosfery i oddziaływanie cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego z turbulencjami magnetycznymi w wietrze słonecznym. Integralną charakterystykę warunków elektromagnetycznych w heliosferze dają długookresowe zmiany natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego, a w szczególności zmiany widma sztywności magnetycznej zmienności natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego (ang. Rigidity Spectrum of GCR intensity variation), określane z roku na rok, pozwalające na szczegółową ocenę w czasie, procesów zachodzących w przestrzeni międzyplanetarnej.

Ważną rolę, zarówno w długookresowych, jak i krótkookresowych zmiennościach natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego, odgrywają efekty dryfu cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego w natężeniu i anizotropii galaktycznego promieniowania kosmicznego, które umożliwiają badanie własności propagacji cząstek w wielkoskalowych strukturach wiatru słonecznego, do diagnozowania jego prędkości, niejednorodności pola magnetycznego heliosfery oraz do oszacowania współczynnika dyfuzji i gradientów galaktycznego promieniowania kosmicznego dla różnych okresów słonecznej aktywności (np. Alania, Iskra, **Siluszyk** 2001; Modzelewska, Iskra, Wozniak, **Siluszyk**, Alania, 2019).

W pracach [H1 – H8] przeprowadzono badania widma sztywności długookresowej zmienności natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego i jego związku z turbulencjami fluktuacjami/niejednorodnościami magnetycznymi pola magnetycznym heliosfery.

Po raz pierwszy M. Alania zauważył, że w wielu spadkach Forbush'a, po przywróceniu poziomu natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego, pole magnetyczne w fali uderzeniowej stawało się bardziej regularne w miarę jej rozszerzania się, a widmo gęstości mocy

fluktuacji magnetycznych (turbulencji) wiatru słonecznego jest przesunięte z wysokich w kierunku niskich częstotliwości (Alania, 1980; Wawrzynczak i Alania 2009).

Zjawisko to prowadzi do zmiany widma gęstości mocy a skrócie PSD (ang. Power Spectrum Density) turbulencji w polu magnetycznym heliosfery i przyczynia się do zmiany wykładnika widma sztywności magnetycznej zmienności natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego.

Badanie aspektów długookresowych zmienności natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego z roku na rok, czasowych zmian oraz ich widm sztywnościowych (energetycznych) w kolejnych cyklach słonecznej aktywności wraz z badaniami modelowo-teoretycznymi pozwala prześledzić dynamikę procesów elektromagnetycznych zachodzących w przestrzeni międzyplanetarnej i jest bardzo ważne dla rozwiązywania szerokiego zakresu problemów dotyczących zmienności galaktycznego promieniowania kosmicznego w heliofizyce i geofizyce.

Cykl prac [H1 – H8] skupia się na wynikach uzyskanych na podstawie badania warunków panujących w heliosferze, które dotyczą długookresowych zmian natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego oraz wielkoskalowych struktur pola magnetycznego heliosfery w różnych cyklach słonecznej aktywności.

Ważnymi parametrami charakteryzującymi warunki panujące w heliosferze są parametry γ i ν .

I. Parametr γ definiowany jest w widmie sztywnościowym (energetycznym) zmienności natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego, który wyraża się zależnością potęgową określającą zmianę natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego w zależności od wartości sztywności R za pomocą wyrażenia postaci:

$$\frac{\delta D(R)}{D(R)} = \begin{cases} A \cdot R^{-\gamma}, & R \leq R_{max} \\ 0, & R > R_{max} \end{cases}$$

gdzie R oznacza sztywność magnetyczną cząstki, zaś A moc widma zmienności galaktycznego promieniowania kosmicznego

II. Parametr ν charakteryzuje widmo gęstości mocy (PSD) dla niejednorodności/turbulencji pola magnetycznego heliosfery, które jest określone zależnością potęgową dla poszczególnych składowych B_x , B_y i B_z pola magnetycznego heliosfery, na podstawie wyrażania:

$$PSD = P \cdot f^{-\nu};$$

gdzie f oznacza częstotliwość, a P amplitudę widma PSD

Empiryczne wyliczenia wartości parametrów γ i ν , wykonywane są z niezależnych źródeł danych

⇒ γ z wykorzystaniem średniomiesięcznych danych składowej neutronowej z sieci monitorów neutronowych

⇒ ν z wykorzystaniem godzinnych danych składowych B_x , B_y i B_z pola magnetycznego heliosfery.

Szczegółowe algorytmy wyliczania parametrów γ i ν podane są w pracach [H4], [H6] i [H8].

Liczne badania dotyczące galaktycznego promieniowania kosmicznego wykazały, że występuje one w przeciwfazie do 11-letniego cyklu słonecznej aktywności, (np. Dorman i Dorman, 1967a; Fuji i in., 2003; Fuji i McDonald, 1997) natomiast badania nad przyczyną tej długookresowej zmienności natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego do dziś stanowią problem otwarty.

W pracy Dorman i Dorman (1967b) pokazano, że istnieje przesunięcie w czasie, w skrócie DT (ang. Delay Time) między zmianami słonecznej aktywności i natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego oraz amplitudy modulacji galaktycznego promieniowania kosmicznego znacznie różni się w różnych 11-letnich cyklach (Nagashima i Morishita, 1980).

W pracy z 1969 Stozhkov i Charakchyan zaproponowano, że indeks, który określa liczbę grup plam słonecznych i ich szerokość heliograficzną może być wykorzystany do interpretacji zmiany natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego w 11-letnim cyklu (1958-1968). W pracy Lockwood i Webber (1984) zakładano, że główna część 11-letniej zmienności galaktycznego promieniowania kosmicznego, to wynik skumulowanych efektów spadków Forbush'a. W pracy Webber i Lockwood (1988) zauważono, że efekty dryfu odgrywają znaczącą rolę w procesie modulacji galaktycznego promieniowania kosmicznego, jak również inne efekty mogą być istotne.

W pracy Le Roux i Potgieter (1995) przedstawiono model łączący dryf z połączonym globalnym obszarem interakcji, w skrócie GMIR (ang. Global Merged Interaction Region) w celu wyjaśnienia 11-letniej zmienności natężenia protonów.

Różnice w sztywnościowej zależności 11-letniej zmienności galaktycznego promieniowania kosmicznego między dodatnimi ($A > 0$), a ujemnymi ($A < 0$) polarnościami cyklu magnetycznego Słońca, przedstawiono w pracy Lockwood i Webber (1996). Autorzy pokazali, że zależność współczynnika dyfuzji od sztywności była „bardziej płaska” w przypadku spadku natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego w okresie: 1987 - 1990 niż w okresie 1977 - 1981. W pracy Usoskin i in. (1998) pokazano, że ogólne zachowanie modulacji galaktycznego promieniowania kosmicznego względem słonecznej aktywności jest podobne dla czterech ostatnich cykli słonecznych w zakresie energii cząstek rejestrowanych przez monitory neutronowe; z wyjątkiem anomalii, która miała miejsce w latach 1972–1977. Jest to częściowo powiązane z tzw. mini cyklem w latach 1974–1975 (Wibberenz i in., 2001).

W pracy Bazilevskaya i Svirzhetskaya (1998) badano właściwości 11-letnich zmienności natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego używając danych z pomiarów balonów dla względnie niskich energii cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego (< 0.5 GeV). Stwierdzono, że właściwości długookresowej zmienności natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego rejestrowane za pomocą pomiarów balonowych można opisać na podstawie modelu anizotropowej dyfuzji z dryfem. Niestacjonarny model, z dyfuzyjną barierą i innymi mechanizmami modulacji został zaproponowany przez Ferreira i Potgieter (2008) do wyjaśnienia 11-letniej i 22-letniej zmiany galaktycznego promieniowania kosmicznego natężenia protonów, elektronów i helu. Zostało zaproponowanych wiele modeli transportu cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego (np. Alania, Gil, Iskra, Modzelewska, **Siluszyk**, 2005; Wawrzynczak i Alania 2009; Gil i Alania 2014).

W pracy Gushchina, i in. (2008) pokazano, że w modelu, który opisuje długookresową modulację natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego należy wprowadzić wielkość i znak biegunowego pola magnetycznego, kąt nachylenia, w skrócie TA (ang. Tilt Angle) heliosferycznej warstwy prądowej, w skrócie HCS (ang. Heliospheric Current Sheet) do płaszczyzny równika słonecznego i indeks uwzględniający rozbłyski rentgenowskie.

W pracy Agarwal i Mishra (2008), stwierdzono istnienie przesunięcia w czasie zmian natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego w stosunku do słonecznej aktywności. Gupta i in. (2006) wykazał, że pętle histerezy (natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego w zależności od SSN i TA) są szerokie dla cykli nieparzystych i wąskie dla cykli parzystych; podobne zmiany zostały znalezione w pracach np. w Nagashima i Morishita (1980).

Istnienie czasu opóźnienia jest powszechnie uznawanym faktem, badanym przez naukowców, choć różnie interpretowanym w różnych okresach. Naukowcy wyjaśniają to zjawisko efektami dryfu (np. Mavromichalaki, Paouris, Karalidi, 2007; Cliver, Ling, 2001; Chowdhury, Kudela, 2018). W pracy Usoskin et al. (1998) jest sugestia, że modulacja GCR wydaje się wyraźnie skorelowana tylko ze wskaźnikami globalnymi z powodu skomplikowanego transportu GCR w heliosferze.

Trudno wyciągnąć wnioski, co do jednoznacznych przyczyn 11-letniej zmienności natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego. W pracach Dorman (2001), Alania i in. (2001), Alania (2002) wykazano, że około 75–80%, 11-letniej zmienności galaktycznego promieniowania kosmicznego można interpretować na podstawie dyfuzyjno -konwekcyjnego

modelu propagacji galaktycznego promieniowania kosmicznego. Przyjmując te założenie musimy oszacować wkład obu procesów propagacji galaktycznego promieniowania kosmicznego tj. konwekcji i dyfuzji, oddzielnie. Rola konwekcji w 11-letniej zmienności natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego jest niewielka ze względu na niewielkie zmiany prędkość wiatru słonecznego w dolnych rejonach heliograficznych ($<35^\circ$) na orbicie Ziemi podczas 11-letniego cyklu słonecznej aktywności np. El-Borie i in., (1997). Dlatego zmiana współczynnika dyfuzji K , cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego w zależności od słonecznej aktywności powinna być główną przyczyną 11-letniej zmienności natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego. Oprócz zależności współczynnika dyfuzji K od współrzędnych przestrzennych, występuje zależność od sztywności magnetycznej R zgodnie z quasi liniową teorią QLT (ang. Quasi Linear Theory) mamy wówczas, $K \propto R^\alpha$, gdzie $\alpha = 2 - \nu$, a ν jest wykładnikiem potęgi widma gęstości mocy turbulencji pola magnetycznego heliosfery PSD, (Jokipii, 1971; Toptygin, 1985). W QLT (Toptygin, 1985) napotykamy na pewne trudności, np. (1) równoległa średnia droga swobodna wyznaczona na podstawie danych eksperymentalnych jest znacznie większa niż wskazuje teoria, (2) niemożliwe jest wyznaczenie współczynnika dyfuzji K dla kątów rozpraszania $\sim 90^\circ$; jednak QLT nadal pozostaje inspiracją do rozwijania teorii turbulencji i propagacji galaktycznego promieniowania kosmicznego w międzyplanetarnej przestrzeni. W ciągu ostatnich 30 lat QLT została poddana korekcji i rozwinięciu.

Naukowcy z Instytutu Badawczego Bartola, University of Delaware, USA, od lat 80 ubiegłego wieku do chwili obecnej zajmują się teorią turbulencji wiatru słonecznego, szczególnie w przypadku transport galaktycznego promieniowania kosmicznego w heliosferze (Bieber et al., 1994; Matthaeus et al., 2004; Zank i in., 1996; Schalchi i in., 2004, Schalchi, 2020). W pracy Bieber i in. (1994) znaleziono zgodność między wynikami teoretycznymi a obserwacjami, (Palmer, 1982) dla tłumiącego modelu turbulencji dynamicznych. W 1997 Bieber and Matthaeus zaproponowali model (BAM) do rozwiązania problemu dyfuzji prostopadłej cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego. Następnie została przedstawiona nieliniowa teoria centrum przenoszenia NLGCT (ang. nonlinear guiding center theory) w pracy Matthaeus i in., (2003) i słaba teoria nieliniowa WNLT (ang. weakly nonlinear theory) (Schalchi i in., 2004). Znaczne różnice między oczekiwanymi wynikami z QLT, a wynikami zarówno z teorii NLGCT, jak i WNLT zostały znalezione dla cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego o energiach od 100 MeV do 500 MeV. Teorie (QLT, NLGCT i WNLT) są zbieżne i dają prawie takie same wyniki dla energii powyżej 1 GeV (Droge, 2003; Schalchi i Schlickeiser, 2004).

Zunifikowana nieliniowa teoria transportu (UNLT) (ang. unified non-linear transport theory) została rozwinięta w pracy Schalchi (2010). Niestacjonarny przypadek UNLT, w którym, w porównaniu z poprzednimi teoriami transportu nie ma oparcia na dyfuzji został przedstawiony w pracy Lasuik i Schalchi (2017). W pracy Schalchi (2020) zostały przedstawione praktycznie wszystkie teorie odnoszące się do modulacji galaktycznego promieniowania kosmicznego, poczynając od pionierskiej pracy Jokipii (1966).

Zależność współczynnika dyfuzji K od sztywności R cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego, $K \propto R^\alpha$ dotyczy energii galaktycznego promieniowania kosmicznego w zakresie (5–50 GeV), rejestrowanych przez monitory neutronowe i teleskopy mionowe.

W pracach Alania, Iskra (1995); Alania i in. (2001); Alania (2002) oraz Alania i in. (2003) w oparciu o dane eksperymentalne oraz matematyczne modelowanie wykazano, że wykładnik γ widma sztywności zmienności natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego jest określony przez parametr α , $\alpha \propto \gamma$.

Pokazano również, że 11-letnią zmienność wykładnika widma sztywności γ ma wyraźną dodatnią korelację z liczbą plam słonecznych i jednocześnie ujemną korelację z natężeniem galaktycznego promieniowania kosmicznego mierzoną przez monitory neutronowe.

[H1] Siluszyk M., Iskra K., Modzelewska R., Alania M.V., Features of the 11-year variation of galactic cosmic rays in different periods of solar magnetic cycles, ADVANCES IN SPACE RESEARCH, vol. 35, iss. 4, s. 677-681 - ISSN 0273-1177., DOI: 10.1016/j.asr.2005.02.037, IF: 0.706. (2005)

W pracy [H1] na podstawie danych natężenia składowej neutronowej galaktycznego promieniowania kosmicznego z 11 monitorów neutronowych z różnym progiem obciążenia (ang. Cut off Rigidity), stosując metodę najmniejszych kwadratów zostały wyznaczone wartości współczynnika γ , w różnych okresach słonecznej aktywności. Z uwzględnieniem polarności pola magnetycznego Słońca, rozpatrzono okresy tj. $\{(1977-1981), (A>0)\}$, $\{(1982-1985) (1988-1991) (A<0)\}$, i $(1992-1996), (A>0)\}$.

Wyznaczone wartości parametru γ , dla $\{(1977-1981), (A>0)\}$, w minimum słonecznej aktywności wynosi $\gamma_{min} = 0.7 \pm 0.04$, w maksimum słonecznej aktywności wynosi $\gamma_{max} = 1.3 \pm 0.05$. W okresie $\{(1987-1990) (A<0)\}$, w minimum słonecznej aktywności wynosi $\gamma_{min} = 0.8 \pm 0.05$, w maksimum słonecznej aktywności wynosi $\gamma_{max} = 1.1 \pm 0.04$.

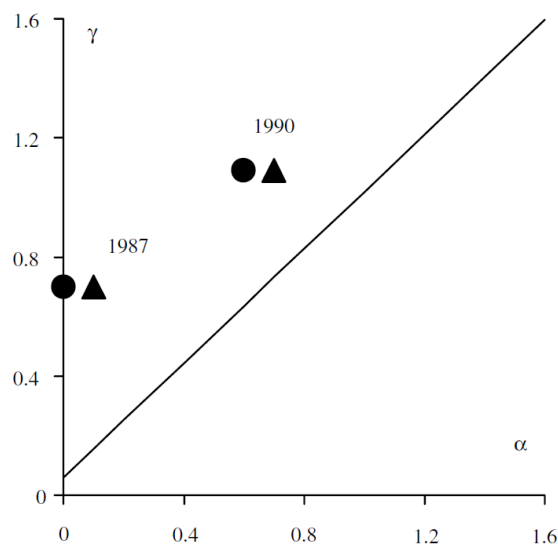
Ogólnie, zaobserwowano zmianę parametru γ od minimum do maksimum słonecznej aktywności, w minimum i okolicach minimum słonecznej aktywności, przyjmuje wartości $\gamma \approx 0.6 - 0.7$, zaś w maksimum i okolicach maksimum słonecznej aktywności, przyjmuje wartości $\gamma \approx 1.1 - 1.3$, zaś wewnątrz cyklu przyjmuje wartości pośrednie [Rys. 2 z [H1]]. Zaobserwowano również słabą zależność parametru γ w zależności od zmiany polarności pola magnetycznego Słońca.

W pracy zaproponowano po raz pierwszy mechanizm 11-letniej zmienności galaktycznego promieniowania kosmicznego, polegający na tym, że zmiany współczynnika dyfuzji K , odpowiadającego za modulacje galaktycznego promieniowania kosmicznego powodowane są głównie przez zmianę struktury magnetycznych turbulencji pola magnetycznego heliosfery w różnych okresach słonecznej aktywności i dla różnych polarności pola magnetycznego Słońca. Na podstawie czasowych zmian parametru γ , przyjęto, że struktura turbulencji pola magnetycznego heliosfery znacząco zmienia się, co obserwujemy w zakresie częstotliwości ($10^{-6} - 4 \cdot 10^{-6}$) Hz od minimum do maksimum okresów słonecznej aktywności. To założenie zostało potwierdzone przez czasowe zmiany parametru ν określający magnetyczne widmo turbulencji pola magnetycznego heliosfery w różnych okresach słonecznej aktywności.

W pracy [Alania, Iskra, **Siluszyk**, 2003] pokazano, że $K \propto R^\alpha$ zależy od parametru α , zatem $\gamma \propto \alpha$. Na podstawie QLT, gdzie $K \propto R^\alpha$, ($\alpha = 2 - \nu$), tak, więc $K \propto R^\nu$, z tych dwóch zależności wynika związek między parametrami γ i ν , ($\gamma = 2 - \nu$).

Po raz pierwszy, na podstawie danych składowych B_y i B_z pola magnetycznego heliosfery pokazano istotne zmiany parametru ν , w okresie minimum (1987) oraz okresie maksimum (1990) słonecznej aktywności, w zakresie częstotliwości ($10^{-6} - 4 \cdot 10^{-6}$) Hz.

W pracy pokazano, że w minimum (1987) $\nu_y \approx 2.0$ i $\nu_z \approx 1.93$, a w maksimum (1990) $\nu_y \approx 1.43$ i $\nu_z \approx 1.27$. [Rys. 3 z [H1]]. Na Rys.2 przedstawiono otrzymane wartości parametrów γ i ν współczynników (γ, ν_y) i (γ, ν_z) wyznaczone w latach 1987 i 1990, które zostały porównane z liniową zależnością $\gamma = \gamma(\alpha)$.



Rysunek 2. Teoretyczna zależność pomiędzy α i γ , punkty eksperymentalne odpowiadające składowym B_y (kropki) i B_z (trójkąty) międzyplanetarnego pola magnetycznego w latach 1987 i 1990

[H2] Alania, M. V. Iskra, K. **Siluszyk, M.**, New index of long-term variations of galactic cosmic ray intensity, ADVANCES IN SPACE RESEARCH., vol. 41, iss. 2, pp. 267-274 - ISSN 0273-1177, IF: 0.860, (2008)

W pracy [H2], która jest kontynuacją pracy [H1] znaleziono metodą najmniejszych kwadratów związek między parametrami γ i ν określony funkcją $\nu(\gamma) = -(0.99 \pm 0.16)\gamma + (2.4 \pm 0.15)$, zależność uzyskano na podstawie danych eksperymentalnych z lat 1976 – 2002.

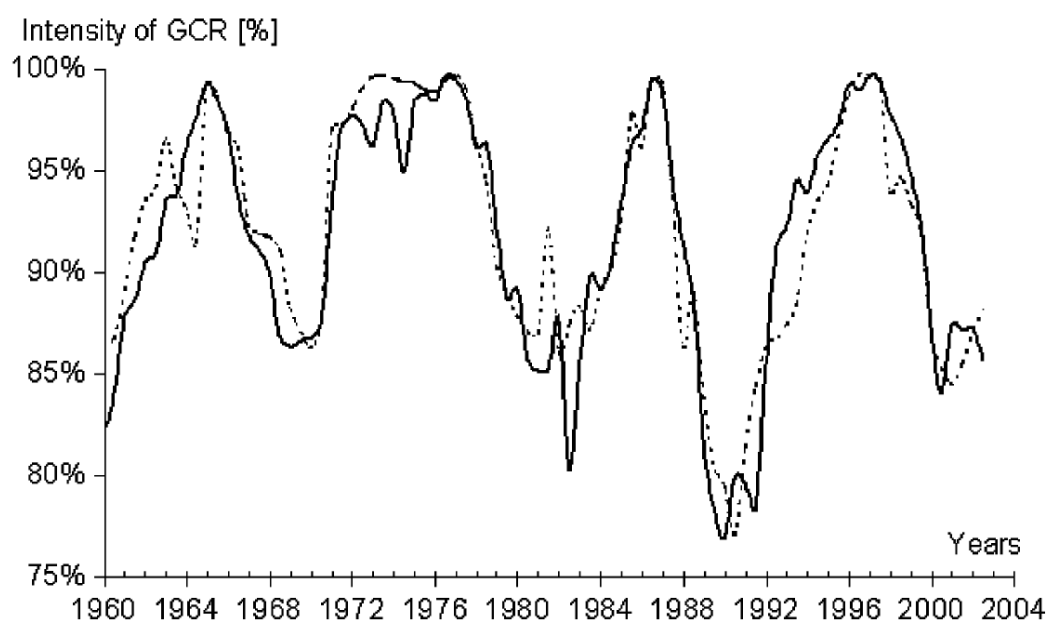
Ten wynik potwierdza wcześniejsze nasze badania [H1], że zmiany parametru γ są określone przez zmianę parametru ν szczególnie wywołane przez turbulencję składowej B_y pola magnetycznego heliosfery ($\gamma \approx 2 - \nu_y$). Z drugiej strony powyższy związek z powodu zależności parametru ν od częstotliwości f turbulencji pola magnetycznego heliosfery (Jokipii i Coleman 1968) powinien powodować zmianę parametru γ od częstotliwości f i jednocześnie sztywności magnetycznej R cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego. Kiedy częstotliwość f zmniejsza się (sztywność magnetyczna R rośnie), to parametr γ wzrasta, w granicy, gdy $\nu \rightarrow 0, \gamma \rightarrow 2$. Na podstawie danych eksperymentalnych w okresach 1965-1976; 1980-1984 i 1989-1991 wyznaczono parametry γ dla dwóch grup monitorów neutronowych (G1 i G2) z efektywną sztywnością magnetyczną rejestracji G1: $\sim(10-15)GV$ i G2 $\sim (20-25)GV$.

Pokazano, że widmo sztywnościowe zmienności galaktycznego promieniowania kosmicznego jest bardziej twarde dla G1 ($\gamma \approx 0.4 - 0.8$) niż dla G2 ($\gamma \approx 1.2 - 1.6$) [Rys 6, 7, i 8 z [H2]]. Ten wynik jest potwierdzeniem, że QLT jest poprawna w zakresie energii 5-50 GeV, która odpowiada zakresowi energii mierzonemu przez monitory neutronowe i teleskopy mezonowe.

Po raz pierwszy założono, że istnieje zależność między zmianami natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego a parametrem γ postaci: $I_i = I \cdot \text{Exp}[-\mu(\gamma_{min} - \gamma_i)]$, Na podstawie wyznaczonych wartości parametru γ , w oparciu o tą zależność skorygowano natężenie galaktycznego promieniowania kosmicznego.

W [H2] przedstawiono zależność między nieskorygowanymi i skorygowanymi danymi ze względu na parametr γ , widać, że zakres zmian skorygowanej natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego wynosi ok. 25% amplitudy 11-letniej zmienności galaktycznego promieniowania kosmicznego. Rysunek 3 przedstawia nieskorygowaną wartość natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego i różnicę między nieskorygowanym i skorygowanym natężeniem galaktycznego promieniowania kosmicznego, co stanowi 75-80 % amplitudy 11-letniej zmienności galaktycznego promieniowania kosmicznego, co jest potwierdzeniem wyników otrzymanych pracach (Dorman 2000; Alania i in. 2001; Alania 2002).

Powyższe rysunki pokazują, że rola parametru γ jest bardzo ważna w procesie modulacji, powodowanej przez zmianę struktury magnetycznych turbulencji w różnych okresach słonecznej aktywności.



Rysunek 3. Nieskorygowana wartość natężenia GCR (linia ciągła) i różnicę między skorygowanym i nieskorygowanym natężeniem GCR (linia przerywana), dla danych z monitora neutronowego Climax, w okresie 1960 -2002

[H3] Siluszyk M., Wawrzynczak A., Alania M.V., A model of the long period galactic cosmic ray variations, JOURNAL OF ATMOSPHERIC AND SOLAR-TERRESTRIAL PHYSICS, - Vol. 73, iss. 13, s. 1923-1929. - ISSN 1364-6826, DOI: 10.1016/j.jastp.2011.05.003, IF: 1.596, (2011)

Ważnym aspektem w badaniu długookresowych zmian natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego oprócz badań eksperymentalnych są również badania teoretyczne, a zwłaszcza modelowanie celem uzyskania optymalnego modelu opisującego rozprzestrzenianie się i modulację galaktycznego promieniowania kosmicznego w heliosferze.

Po raz pierwszy w pracy [H3] został zaprezentowany dwuwymiarowy niestacjonarny model opisujący długookresową zmienność galaktycznego promieniowania kosmicznego. W pracy zostało wykorzystane klasyczne równanie transportu (Parker, 1965), które jest niestacjonarnym równaniem różniczkowym cząstkowym drugiego rzędu typu parabolicznego

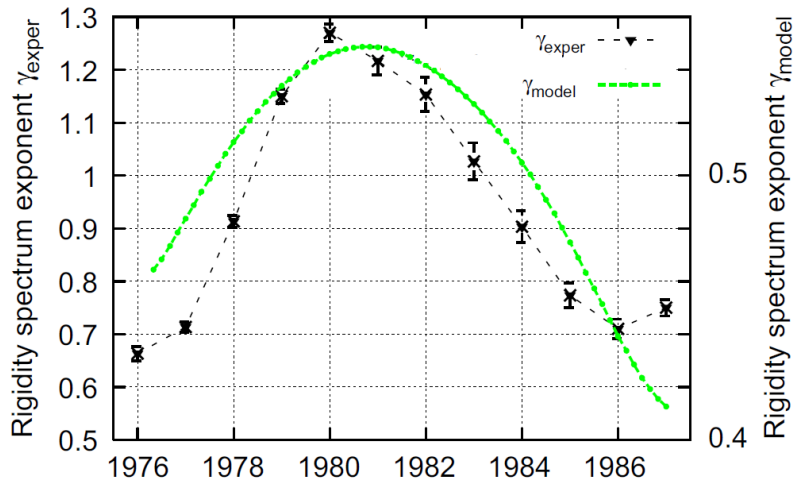
$$\frac{\partial N}{\partial \tau} = \nabla(K\nabla N) - (v_d + U)\nabla N + \frac{1}{3} \frac{\partial}{\partial R} (NR)\nabla U$$

gdzie: $N(r, R, \tau)$ jest funkcją rozkładu galaktycznego promieniowania kosmicznego, τ czasem, R sztywnością magnetyczną, U prędkością wiatru słonecznego, v_d prędkością dryfu, K tensorem anizotropowej dyfuzji, r określa położenie cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego w przestrzeni. Pierwszy człon równania $\nabla(K\nabla N)$ opisuje zjawisko dyfuzji cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego, wyrażenie $(v_d + U)\nabla N$ określa konwekcję oraz dryfy związane z gradientem i krzywizną pola magnetycznego heliosfery, zaś ostatni człon równania $\frac{1}{3} \frac{\partial}{\partial R} (NR)\nabla U$ opisuje adiabatyczną zmianę energii cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego.

Po raz pierwszy w równaniu transportu Parkera we współczynniku dyfuzji K zaimplementowano: parametry charakteryzujące warunki panujące w heliosferze, moduł B pola magnetycznego heliosfery, kąt nachylenia pola magnetycznego heliosfery, dryft cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego oraz został uwzględniony parametr v . Na podstawie wcześniejszych badań eksperymentalnych [H1] i [H2] założono, że dryf cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego jest największy w minimum i okolicach minimum słonecznej aktywności, zaś dyfuzja dominuje w maksimum i okolicach maksimum słonecznej aktywności. W pracy zostało wykazane, że powyższy związek występuje w okresie od 1976 do 1987 roku (tj. 21 cykl słonecznej aktywności). Powyższy okres został wybrany, ponieważ zjawisko przebiegunowania Słońca miało miejsce w połowie cyklu tj. w latach 1980-1981. Na obu brzegach przedziału tj. w latach 1976 i 1987, obserwujemy podobny poziom natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego. Cykl 21 charakteryzuje się prawie jednakowymi symetrycznymi zmianami w okresie wzrostu jak i spadku słonecznej aktywności. W trakcie cyklu zaobserwowano dużą ilość ok. 7 następujących po sobie spadków Forbush'a określających skokowy charakter zmian natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego, co jest niespotykane w innych cyklach 11-letnich. W pracy [H2] teoretycznie określono opóźnienie czasowe między zmianami natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego a różnymi parametrami charakteryzującymi warunki panujące w heliosferze.

Po raz pierwszy w pracy na podstawie modelu, zostało wykazane, że czasowe zmiany gęstości cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego są przesunięte w stosunku do uśrednionych zmian danych pochodzących z eksperymentu rejestrujących natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego. W rozważanym okresie przesunięcie w czasie wyniosło 18 miesięcy. Otrzymany czas opóźnienia 18 miesięcy, jest efektem opóźnienia spowodowanego łącznym wpływem wszystkich parametrów zaimplementowany w 2D modelu.

Ponadto, po raz pierwszy w pracy [H3] na podstawie modelu teoretycznego określono parametr γ w analizowanym okresie. Na Rys. 4 przedstawiono porównanie teoretycznych wartości parametru γ , z wartościami parametru γ otrzymanymi eksperymentalnie, widać wysoką korelację między nimi, co jest potwierdzeniem poprawności powyższego modelu [Rys. 9 z pracy H1].



Rysunek 4. Czasowe zmiany rocznych wartości wykładnika widma sztywnościowego γ_{exper} otrzymane eksperymentalne na podstawie danych (trójkąty) w okresie 1976 –1987 oraz teoretyczne otrzymane wartości parametru γ_{model} na podstawie równania (krzywa przerywana).

[H4] Siluszyk M., Iskra K., Alania, M.V., Rigidity dependence of the long period variations of galactic cosmic ray intensity: a relation with the interplanetary magnetic field turbulence for 1968–2002, SOLAR PHYSICS. - Vol. 289, iss. 11, s. 4297-4308. - ISSN 0038-0938, 1573-093X, DOI: 10.1007/s11207-014-0573-z, IF: 4.039, (2014)

W teoretycznej pracy [H3] w porównaniu z eksperymentalnymi pracami [H1] i [H2] zostały rozszerzone i pogłębione badania dotyczące związku parametrów γ i ν w okresie 1968 – 2002. Po raz pierwszy do badania powyższego związku wykorzystano zależność określającą częstotliwość rezonansową na podstawie wzoru (Jokipii and Coleman, 1968 i Jokipii, 1971),

$$f_{res} = \frac{300 U \cdot B}{2 \pi R}$$

gdzie: U – prędkość wiatru słonecznego; B – indukcja pola magnetycznego; R – sztywność magnetyczna cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego

Na podstawie Rys 2a, 2b i 3 widać, że zależność f_{res} od okresu słonecznej aktywności, jest bardziej powodowana przez zmianę wartości indukcji magnetycznej B, z roku na rok, która jasno pokazuje 11 letnią zmienność galaktycznego promieniowania kosmicznego, niż przez prędkość wiatru słonecznego U.

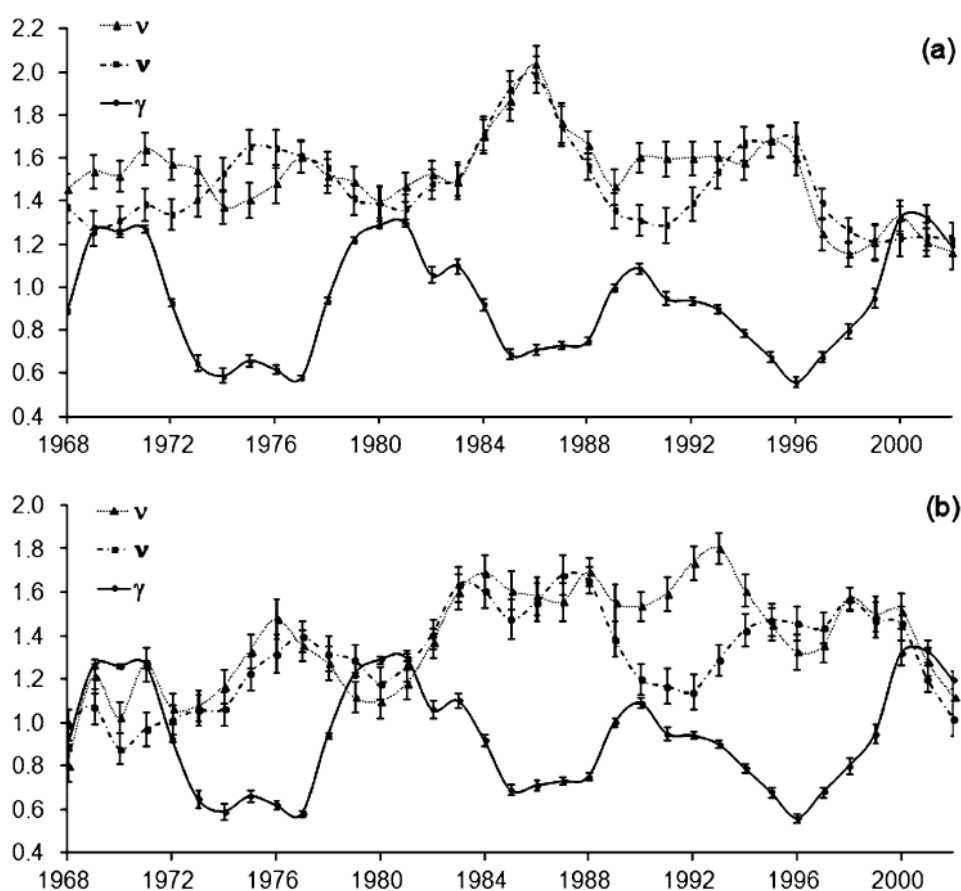
Współczynnik korelacji między $r(f_{rez}; B) = 0.95 \pm 0.01$, zaś $r(f_{rez}; U) = 0.31 \pm 0.03$,

W tabeli 2 przedstawiono zakresy częstotliwości rezonansowych i odpowiadające im przedziały $\Delta f = f_1 - f_2 = (3 - 4) \times 10^{-6} Hz$, dla których wyznaczono parametry ν_y i ν_z .

Na podstawie Rys 3. wybierano w różnych okresach słonecznej aktywności, różne wartości f_{res} co się wiąże z przesunięciem Δf w kierunku niższych lub wyższych częstotliwości, ale przedział Δf pozostał prawie stały. Zaobserwowano, że f_{res} jest niższa w okresie minimum słonecznej aktywności niż maksimum słonecznej aktywności. Te zmiany f_{res} turbulencji pola magnetycznego heliosfery, są spowodowane 11-letnią okresowością indukcji pola magnetycznego Słońca.

Z Tabeli 3 widzimy, silny związek między γ i ν_y , oraz γ i ν_z , dla rozpatrywanych 3 okresów 1968-1976, 1977-1989 i 1990-2002. Jeśli uwzględniamy zmianę f_{res} związaną z cyklem słonecznej aktywności widzimy wysokie współczynniki korelacji, czego nie obserwujemy, gdy f_{res} pozostaje stała podczas całego cyklu słonecznej aktywności.

Wyjątek stanowi okres 1977-1989, gdzie współczynniki korelacji wyznaczone dla stałej i zmiennej wartości f_{res} są podobne. Wynika to prawdopodobnie z wyjątkowych warunków w przestrzeni międzyplanetarnej w cyklu słonecznego 21, charakteryzującymi się jednorodną i izotropową turbulencją pola magnetycznego heliosfery.



Rysunek 5. Panel (a) pokazuje czasowe zmiany γ (krzywa ciągła) i ν_y otrzymane za pomocą pierwszej metody (krzywa kropkowna) i ν_y otrzymane za pomocą drugiej metody (krzywa przerywana) w okresie 1968-2002. Panel (b) pokazuje wyniki dla parametru ν_z .

[H5] Siluszyk M., Iskra K., Alania, M.V., 2-D Modelling of Long Period Variations of Galactic Cosmic Ray Intensity JOURNAL OF PHYSICS. CONFERENCE SERIES. - Vol. 632 012080, s. 1-8 - ISSN 1742-6588, 1742-6596. DOI: 10.1088/1742-6596/632/1/012080, IS: 0.52, (2015)

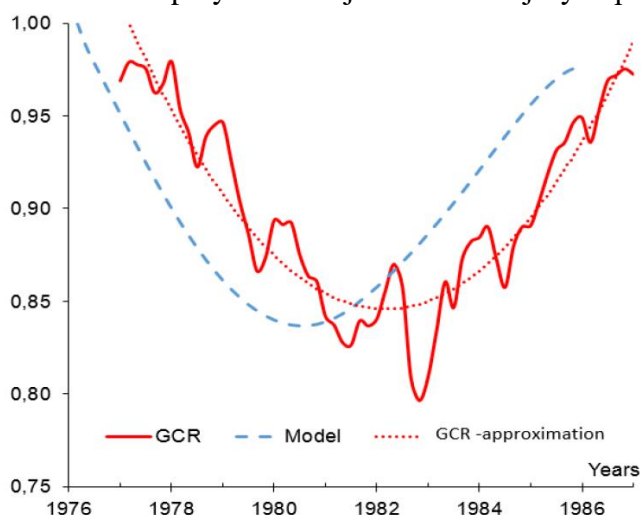
W pracy [H5] został przedstawiony dwuwymiarowy (2-D) model zależny od czasu opisujący długookresowe zmiany galaktycznego promieniowania kosmicznego. Wstępna analiza statystyczna Tabela 1 w pracy [H5] wykazała, że istnieje różne opóźnienie w czasie w zależności od cyklu. Podobnie jak w pracy [H3], również w [H5] zostało użyte równanie transportu Parkera. W pracy zostały wyznaczone maksymalne wartości współczynnika korelacji Pearsona, oraz określony dla nich czas opóźnienia. Analiza została przeprowadzona dla par wskaźników (GCR, SSN); (GCR, γ) dla 4 cykli 11-letnich słonecznej aktywności, tj. 20, 21, 22 i 23.

W równaniu Parkera, a dokładniej w funkcji określającej współczynnik dyfuzji K zaimplementowano: parametry charakteryzujące warunki panujące w heliosferze: moduł B pola

magnetycznego heliosfery, kąt nachylenia pola magnetycznego heliosfery, dryft cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego oraz wykładnik γ . Na podstawie danych empirycznych inaczej niż w [H2] oszacowano zmianę dryfu cząstek.

Po raz pierwszy został uwzględniony parametr γ (który ściśle jest powiązany z parametrem ν) we współczynniku dyfuzji K , którego wartość otrzymaliśmy z danych eksperymentalnych rejestrowanych przez monitory neutronowe np. w pracy [H1], a następnie został za pomocą funkcji uwzględniony w modelu. Dodatkowo w tym okresie obserwujemy bardzo wysoką korelację pomiędzy parametrami γ i ν .

W pracy określono opóźnienie czasowe między zmianami natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego i różnymi parametrami charakteryzującymi warunki panujące w heliosferze. W rozważanym okresie czas opóźnienia wyniósł 18 miesięcy. Co potwierdza uzyskany wynik z pracy [H3]. W skonstruowanym modelu w pracy [H5], zaimplementowano parametr γ , w przeciwieństwie do [H3], gdzie użyto parametru ν . Wyniki z obu prac [H3] i [H5] pokazują jednoznacznie związek pomiędzy parametrami γ i ν , postaci $\gamma \propto 2 - \nu$, który został szczegółowo zbadany na drodze eksperymentalnej we wcześniejszych pracach [H1], [H2].

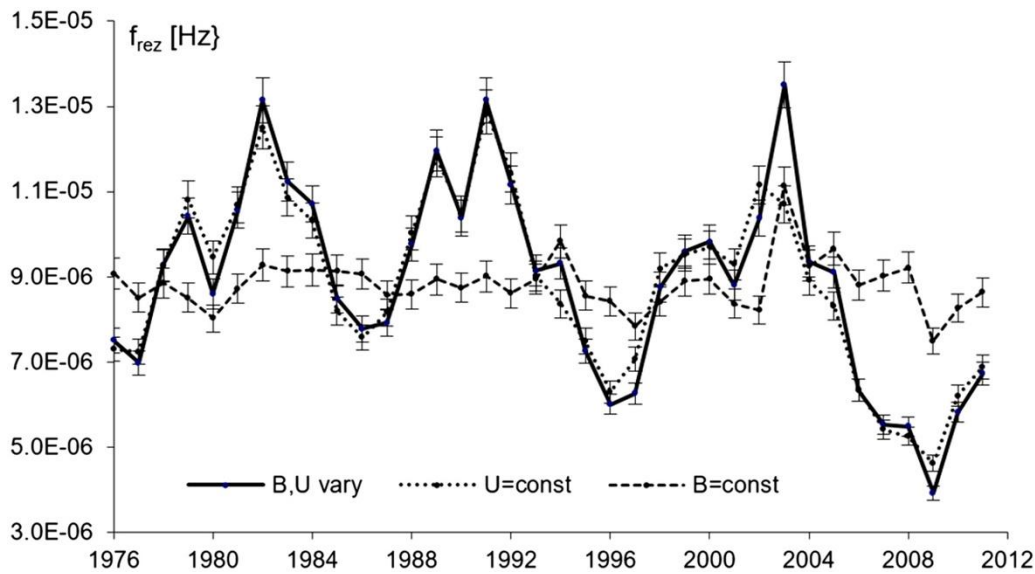


Rysunek 6. Czasowe zmiany amplitudy 11 –letniej zmienności znormalizowanego natężenia GCR (krzywa ciągła czerwona), uśrednione wartości rejestrowanych zmian natężenia GCR (krzywa kropkowana czerwona). Wynik symulacji zmian natężenia GCR dla sztywności 10GV (krzywa przerywana niebieska)

[H6] Siluszyk M., Iskra K., Alania, M.V., Miernicki S., Interplanetary Magnetic Field Turbulence and Rigidity Spectrum of the Galactic Cosmic Rays Intensity Variation (1968-2012), Journal of Geophysical Research: Space Physics, Vol. 123, 1, s. 30-38. - ISSN 0148-0227, 2169-9402, DOI: 10.1002/2017JA023994, 2018; IF: 2.821, (2018)

W pracy [H6] rozszerzono badania związku między parametrami γ i ν_y , parametrami γ i ν_z do 2011 i okres ten podzielono na 4 podokresy uwzględniając polarność pola magnetycznego Słońca. Podobnie jak w pracy [H4] zastosowano dwie metody (f_{res} – stałe i f_{res} – zmienne) do wyznaczenia korelacji między γ i ν .

Z Tabeli 2 widać wysoką ujemną korelację między γ i ν_y oraz γ i ν_z zarówno dla okresów, ($A>0$), (1969–1979 i 1991–2001) oraz ($A<0$) (1980–1988 i 2002–2011), stosując metodę f_{res} – zmienne.

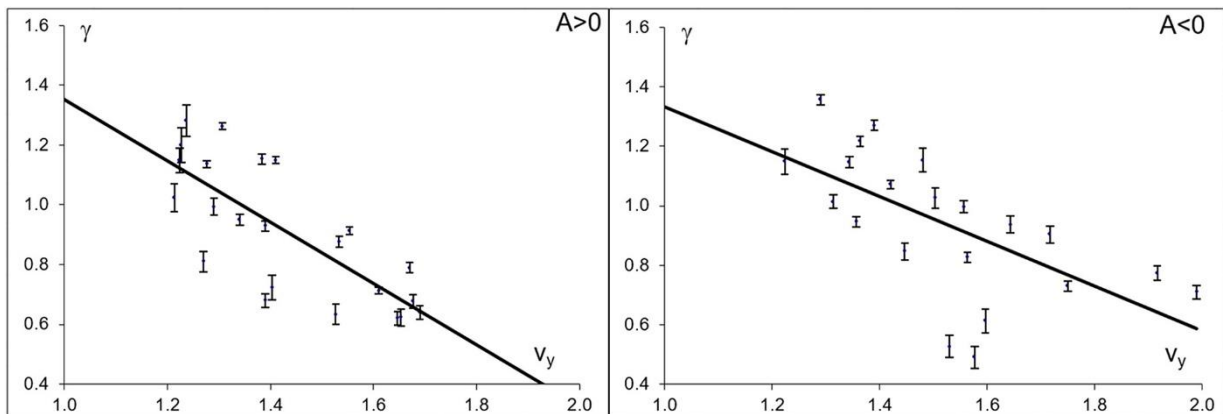


Rysunek 7. Czasowe zmiany częstotliwości rezonansowej f_{res} dla cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego o szywnościach magnetycznych 10GV w różnych cyklach słonecznej aktywności od 1976 do 2011. (a) B –zmiennie; U – zmienne (krzywa ciągła); (b) B –zmiennie; U – stałe (krzywa kropkowana); (c) B – stałe; U – zmienne (krzywa przerywana)

Po raz pierwszy na rysunku 7 przedstawiona jest zmiana f_{res} dla cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego o szywnościach magnetycznych 10GV w 3 wariantach:

- (a) B –zmiennie; U – zmienne,
- (b) B –zmiennie; U – stałe,
- (c) B – stałe; U – zmienne,

Z Rys. 7 widzimy, że czasowe zmiany f_{res} z roku na rok, są spowodowane głównie przez zmianę B natomiast w małym stopniu przez zmianę U. Na rysunku 8 po raz pierwszy wykazano, że związek między γ i v_y zależy od polarności, czego nie obserwujemy między γ i v_z .



Rysunek 7. Punktowy rozkład rozproszenia γ i v_y ; (a) okres: 1969 -1979 i 1991-2001 ($A>0$), (b) okres: 1969 -1979 i 2002 -2011 ($A<0$).

Zmiany parametrów v_y , v_z zbadano w okresie 1968 – 2012 zgodnie z cyklem słonecznej aktywności, są odbiciem zmian w strukturze fluktuacji (turbulencji) pola magnetycznego heliosfery w obszarze heliosfery, gdzie ma miejsce formowanie się długookresowych zmian

natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego. Czasowe zmiany v_y , v_z powinny być również częściowo związane z tworzeniem się turbulencji w atmosferze Słońca, podczas rozwoju 11 letniego cyklu słonecznej aktywności, i ich transportu na ziemską orbitę i dalej.

[H7] Iskra K., Siluszyk M., Alania, M.V., Wozniak W., Experimental Investigation of the Delay Time in Galactic Cosmic Rays Flux in Different Epochs of Solar Magnetic Cycles: 1959–2014, SOLAR PHYSICS. - Vol. 294, 115, s. 1-14. - ISSN 0038-0938, 1573-093X; DOI: 10.1007/s11207-019-1509-4; IF: 2.503, (2019)

Po raz pierwszy w pracy **[H7]** przeanalizowano po raz pierwszy długookresowe zmiany natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego w różnych okresach magnetycznego cyklu Słońca od 1959 do 2014 i określono opóźnienie w czasie między zmianami natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego i różnymi parametrami charakteryzującymi warunki panujące w heliosferze. Pokazano, że istnieje zmieniający się czas opóźnienia między zmianami natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego a parametrami charakteryzującymi słoneczną aktywności, takimi jak liczbą plam słonecznych, kąt nachylenia i pola magnetycznego B.

Na podstawie zależności optymalizacyjnej określono maksymalną wartość współczynnika korelacji dwóch serii danych np. liczbą plam słonecznych i zmiany natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego $I_i(GCR)$ za pomocą formuły:

$$[r(SSN, I_i(GCR)) \rightarrow max].$$

Tabela 1. Współczynnik korelacji r i opóźnienie czasowe DT dla 6 par parametrów w 5 okresach.

No	Period	Cycles	$r(SSN, I_{GCR})$	DT (SSN, I_{GCR}) [months]	$r(SSN, B)$	DT (SSN, B) [months]	$r(SSN, TA)$	DT (SSN, TA) [months]	$r(B, I_{GCR})$	DT (B, I_{GCR}) [months]	$r(B, TA)$	DT (B, TA) [months]	$r(TA, GCR)$	DT (TA, GCR) [months]
I	1959.00–1969.42	$A < 0$	-0.89	15–17	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
II	1971.58–1979.83	$A > 0$	-0.84	2–0	0.73	0	–	–	-0.81	2	–	–	–	–
III	1980.33–1990.00	$A < 0$	-0.90	6	0.81	4	0.89	-1	-0.83	1	0.75	-9	-0.93	5
IV	1991.33–1999.67	$A > 0$	-0.94	4	0.91	2	0.91	-7	-0.91	1	0.88	-12	-0.96	12
V	2000.42–2012.33	$A < 0$	-0.94	13–14	0.90	13	0.78	-12	-0.96	0	0.74	-17	-0.60	16

Z Tabeli 1 widać 22-letnią zmianę DT (czasu opóźnienia) pomiędzy liczbą plam słonecznych, a zmianą natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego, określoną w 5 okresach, w tym 3 z polarnością ujemną ($A < 0$), a 2 z polarnością dodatnią ($A > 0$). Ustalono, że przesunięcie w czasie dla okresu ($A < 0$) jest większe, niż dla okresu ($A > 0$).

Gdy ($A < 0$): I okres (1959-1969) wynosi 15-17 miesięcy, w III okresie (1980-1990) 6 miesięcy, w V okresie (2000-2012) 13-14 miesięcy,

Gdy ($A > 0$): II okres (1971-1979) wynosi 0-2 miesięcy, w IV okresie (1991-1999) wynosi 4 miesiące.

Tabela 2. Współczynnik korelacji r i DT wyznaczono w 10 podokresach. W kolumnie cykle, strzałki skierowane do góry i w dół oznaczają odpowiednio wzrost i spadek natężenia cząstek GCR.

No	Period	Cycles	$r(\text{SSN}, I_{\text{GCR}})$	DT (SSN, I_{GCR}) [months]	$r(\text{SSN}, B)$	DT (SSN, B) [months]	$r(\text{SSN}, \text{TA})$	DT (SSN, TA) [months]	$r(B, I_{\text{GCR}})$	DT (B, I_{GCR}) [months]	$r(B, \text{TA})$	DT (B, TA) [months]	$r(\text{TA}, \text{GCR})$	DT (TA, GCR) [months]
1	1959–1965	19 $A < 0 \nearrow$	0.91	15–16	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	1965–1968	20 $A < 0 \searrow$	0.88	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3	1971–1976	$\nearrow A > 0$	0.40	0	0.46	–	–	–	–0.53	1	–	–	–	–
4	1976–1978	21 $\searrow A > 0$	0.84	1	0.86	1	0.98	0	–0.92	0	0.87	13	–0.93	3
5	1981–1987	$A < 0 \nearrow$	0.87	10–11	0.84	5	0.90	4	–0.81	0	0.86	–2	–0.93	4
6	1987–1988	22 $A < 0 \searrow$	0.96	4–5	0.88	–7	0.97	0	–0.68	0	0.94	17	–0.97	10
7	1991–1997	$\nearrow A > 0$	0.92	0	0.96	2	0.96	–13	–0.88	0	0.91	–14	–0.97	5
8	1997–1999	23 $\searrow A > 0$	0.86	4–5	0.91	–9	0.93	–1	–0.80	1	0.72	8	–0.97	12
9	2002–2009	$A < 0 \nearrow$	0.93	13–14	0.93	13	0.91	2	–0.94	0	0.95	–4	–0.94	3
10	2009–2013	24 $A < 0 \searrow$	0.80	1	0.85	–5	0.92	–11	–0.84	1	0.86	–4	–0.89	5

Ponadto w Tabeli 2 dokonano szczegółowego podziału każdego okresu z daną polarnością na 2 podokresy, ze wzrostem i spadkiem natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego. Zaobserwowano, że dla okresu z ujemną polarnością ($A < 0$), przesunięcie w czasie jest większe podczas wzrostu niż podczas spadku natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego. Dla dodatniej polarności ($A > 0$), nie zaobserwowano przesunięcia w czasie podczas wzrostu natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego, natomiast zaobserwowano słabe przesunięcie w czasie podczas spadku natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego. Główną przyczyną tego zjawiska jest zmiana struktury turbulencji pola magnetycznego heliosfery w zależności od polarności, natomiast dryft powodowany przez gradient i krzywiznę pola magnetycznego heliosfery jest dodatkowym czynnikiem wzmacniającym to zjawisko. Ustalenie różnych wartości przesunięcia w czasie dla różnych cykli słonecznej aktywności i w zależności od polarności magnetycznej Słońca są bardzo ważne z punktu widzenia modelowania propagacji cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego w heliosferze.

[H8] Siluszyk M., K Iskra, Modeling the Time Delay Problem of Galactic Cosmic Ray Flux in Solar Cycles 21 and 23, SOLAR PHYSICS. - Vol 295, iss. 5, 68. - ISSN 0038-0938; DOI: 10.1007/s11207-020-01628-w; IF: 2.671, (2020)

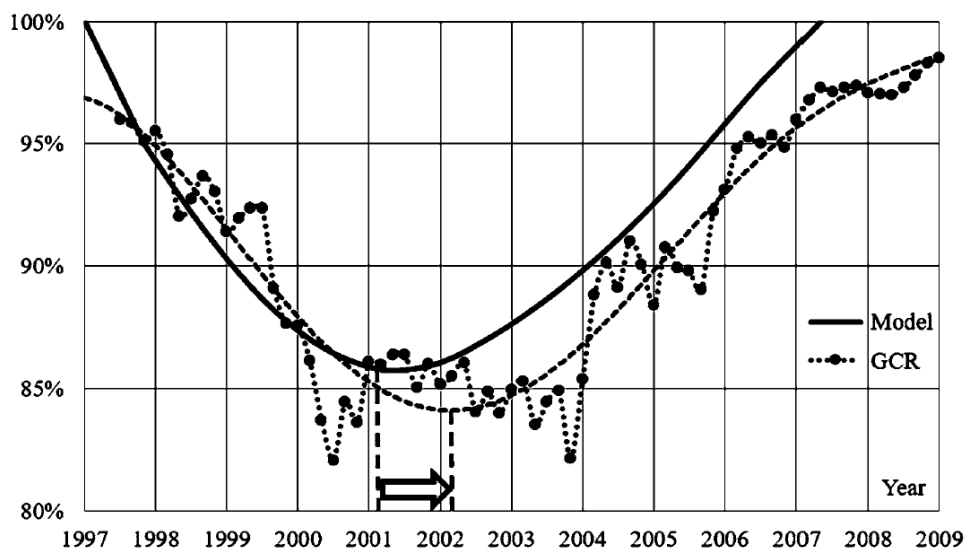
W pracy [H8] zostały przedstawione i zinterpretowane wyniki symulacji, wykonane na podstawie równania transportu Parkera. Zostały przeanalizowane nieparzyste cykle tj. 21 (1976-1987) i po raz pierwszy 23 (1997-2009) słonecznej aktywności. Szczegółowe obliczenia odnoszące się do cyklu 21 znajdują się we wcześniejszych pracach [H3] – modelowanie z uwzględnieniem współczynnika ν , zaś w pracy [H5] – wykonano modelowanie z uwzględnieniem współczynnika γ .

Po raz pierwszy w pracy [H8] zostały przedstawione dwa nowe kolejne modele dotyczące 23 cyklu, w którym uwzględniono parametry charakteryzujące warunki panujące w heliosferze: moduł B pola magnetycznego heliosfery, kąt nachylenia pola magnetycznego heliosfery oraz dryft cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego. W modelu I został użyty parametr γ , zaś w modelu II zastosowano parametr ν . W Tabeli 3 zostały przedstawione funkcje aproksymujące dane eksperymentalne poszczególnych parametrów, które zostały użyte w modelach dla cyklu 23 oraz porównanie tych funkcji z funkcjami dla cyklu 21, który został szczegółowo zbadany w pracach [H3] i [H5].

Tabela 3. Funkcje zaimplementowane w modelach dla cykli słonecznych 21 i 23.

Functions	Period I, 1976–1987, Solar Cycle 21	Period II, 1997–2009, Solar Cycle 23
γ	$\gamma(t) = \sin(\pi \cdot t) + 0.37$	$\gamma(t) = -0.0097 \cdot t^2 + 0.1011 \cdot t + 0.7149$
ν	$\nu(t) = 1.0738 \cdot t^2 - 0.6844 \cdot t + 1.567$	$\nu(t) = 0.0088 \cdot t^2 - 0.1198t + 1.8149$
Normalized parallel coefficient	$K(t) = 2.3 \cdot \exp(4 \cdot t)$	$K(t) = \exp(4.6 \cdot (1.07t^2 - 0.68 \cdot t + 1.57))$
B	$B(t) = -10.35 \cdot t^2 + 10.29 \cdot t + 5.04$	$B(t) = -9.45 \cdot t^2 + 8.04 \cdot t + 5.73$
Drift ratio	$D(t) = 3.2 \cdot t^2 - 3.2 \cdot t + 1.0$	$D(t) = 4.0 \cdot t^2 - 4.0 \cdot t + 1.0$
Tilt angle	$\delta(t) = 408.6 \cdot t^3 - 759 \cdot t^2 + 360.7 \cdot t - 1.4$	$\delta(t) = -140.98 \cdot t^2 + 125.63 \cdot t - 19.759$

Z rysunku 8 (model II) widać, że określone przesunięcie w czasie między zmianami natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego i parametrami charakteryzującymi warunki panujące w heliosferze w cyklu 23 wyniosło 12 miesięcy.



Rysunek 8. Czasowe zmiany znormalizowanej amplitudy długookresowych zmian oraz uśrednione wartości rejestrowanych zmian natężenia GCR (krzywa przerywana), wyniki symulacji na podstawie rozwiązania modelu Parkera zmian natężenia GCR dla sztywności 10GV (krzywa ciągła). Strzałka oznacza przesunięcie czasowe 12 miesięcy w okresie 1997-2009 (model II)

Otrzymany teoretycznie opóźnienie w czasie 12 miesięcy dla cyklu 23 jest podobne do opóźnienia (13-14 miesięcy) wyliczonego z danych eksperymentalnych w okresie wzrostu natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego w tym cyklu w pracy [H7].

Podsumowanie wyników uzyskanych w cyklu publikacji [H1 - H8].

W cyklu 8 przedstawionych prac zaprezentowano wyniki zarówno badań eksperymentalnych jak i teoretycznego modelowania dotyczące długookresowych zmian natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego.

Zaproponowano mechanizm długookresowej zmienności galaktycznego promieniowania kosmicznego polegający na tym, że główną przyczyną długookresowych zmienności galaktycznego promieniowania kosmicznego jest zmiana struktury magnetycznych turbulencji pola magnetycznego heliosfery w różnych okresach słonecznej aktywności spowodowana zmianą charakteru dyfuzji cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego.

Na podstawie przeprowadzonej analizy danych eksperymentalnych natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego i parametru γ pokazano, że około 70-80% amplitudy długookresowej zmienności galaktycznego promieniowania kosmicznego są spowodowane zmianami struktury turbulencji magnetycznych pola magnetycznego heliosfery w różnych okresach słonecznej aktywności, pozostałe 20-30% są spowodowane różnymi zjawiskami w heliosferze, np. dryfem cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego, czy też spadków Forbush'a. [H1, H2].

Po raz pierwszy pokazano, że dla izotropowego rozkładu turbulencji magnetycznych w polu magnetycznym heliosfery istnieje ścisły związek parametrów γ i ν w analizowanych w okresach czasu tj. 1969-2011, pokazano zupełnie nowe podejście do wyznaczania wartości parametru ν na podstawie częstotliwości rezonansowej f_{res} . Wraz ze wzrostem parametru γ zmniejsza się wartość parametru ν i odwrotnie.

Ponadto w okresach maksimum i minimum słonecznej aktywności obserwujemy dla parametru γ zależność: $\gamma_{max} > \gamma_{min}$, zaś odwrotną zależność obserwujemy dla parametru ν , $\nu_{max} < \nu_{min}$ [H4, H6].

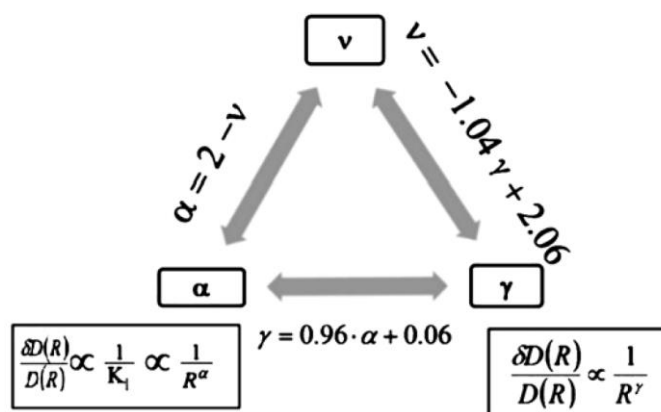
Po raz pierwszy, na podstawie teoretycznych modeli, uwzględniających różne parametry pokazano ścisły związek między parametrem γ i α , określającym zależność współczynnika dyfuzji od sztywności magnetycznej ($\alpha \propto \gamma$) i jednocześnie na podstawie QLT, gdzie $\alpha = 2 - \nu$ pokazano ścisły związek między γ i ν , $\gamma \propto 2 - \nu$ [H3, H5, H8].

Wprowadzone parametry γ i ν , jako nowe niezależne indeksy dobrze określają zmienności galaktycznego promieniowania kosmicznego. Parametry γ i ν można uwzględnić w teoretycznych modelach, tym samym zmniejszając ilość tzw. wolnych parametrów [H3, H5, H8].

Powyższe badania są bardzo ważne nie tylko z punktu widzenia rozwoju fizyki promieniowania kosmicznego, ale również dają możliwość modelowania i prognozowania warunków panujących w bliskiej i dalekiej przestrzeni kosmicznej (tzw. pogody kosmicznej), co ma duży wpływ na warunki panujące w magnetosferze, atmosferze i biosferze Ziemi. Po raz pierwszy szczegółowo wyznaczono czas opóźnienia w okresie 1959–2013 na drodze eksperymentalnej [H7] oraz teoretycznego modelowania w cyklach 21 i 23 [H3, H5, H8].

Na **Diagramie 1.** przedstawiono trójkąt zależności funkcyjnych pomiędzy parametry α, γ, ν . [Rys 1 z [H8]]. Uzyskane funkcje zostały wyznaczone teoretycznie, a następnie potwierdzone eksperymentalnie. Wartość parametru α można wyznaczyć na podstawie parametrów γ i ν , które z powodzeniem możemy uwzględnić w teoretycznym modelowaniu zmian natężenia galaktycznego promieniowania kosmicznego [H3, H5, H8].

Diagram 1. Trójkąt zależności funkcyjnych pomiędzy parametrami α , γ , ν .



Bibliografia

- [1] Agarwal, Rekha, Mishra, Rajesh K. Solar cycle phenomena in cosmic ray intensity up to the recent solar cycle. *Phys. Lett. B* 664, 1–2, 12, 31–34, 2008
- [2] Alania, M.V., Variation of cosmic rays, Tbilisi, Mecniereba, 1980
- [3] Alania, M.V., Iskra, K. Features of the solar wind large-scale structure in the different periods of solar activity based on the variations of cosmic rays. *Adv. Space Res.* 16 (9), 241–244, 1995
- [4] Alania, M.V., Aslamazashvili, R.G., Bochorishvili, T.B., Iskra, K., **Siluszyk, M.**, The role of drift on the diurnal anisotropy and on temporal changes in the energy spectra of the 11-year variation for galactic cosmic rays. *Adv. Space Res.* 27 (3), 613–618, 2001
- [5] Alania, M.V. Stochastic variations of galactic cosmic rays. *Acta Phys. Pol. B* 33 (4), 1149–1166, 2002
- [6] Alania, M.V., Iskra, K., **Siluszyk, M.**, Experimental and theoretical investigations of the 11-year variation of galactic cosmic rays. *Adv. Space Res.* 32 (4), 651–656, 2003
- [7] Alania, M.V., Iskra K., **Siluszyk M.**, On the New Index of the Long-Period Modulation of the Galactic Cosmic Rays Intensity, *Acta Phys. Polonica B*, vol. 39, No 11, 2961-2971, 2008
- [8] Aslam O. P. M., Bisschoff D., Ngobeni M. D., Potgieter M. S., Munini R., Boezio M., Mikhailov V. V. Time and Charge-sign Dependence of the Heliospheric Modulation of Cosmic Rays, *Astrophysical Journal*, 909, 215, 2021
- [9] Bazilevskaya, G.A., Svirzhevskaya, A.E. On the stratospheric measurements of the cosmic rays. *Space Sci. Rev.* 85, 431–521, 1998
- [10] Bieber, J.W., Mathaeus, W.H., Smith, C.W., et al. Proton and electron mean free paths: the Palmer consensus revisited. *Astrophys. J.* 420, 294–306, 1994
- [11] Bütikofer R. Ground-Based Measurements of Energetic Particles by Neutron Monitors. In: Malandraki O., Crosby N. (eds) *Solar Particle Radiation Storms Forecasting and Analysis*. Astrophysics and Space Science Library, vol 444. Springer, Cham., 2018
- [12] Chowdhury, P., Kudela, K., Quasi-periodicities in cosmic rays and time lag with the solar activity at a middle latitude neutron monitor: 1982 – 2017. *Astrophys. Space Sci.* 363, 250, 2018
- [13] Cliver, E.W., Ling, A.G., 22 year patterns in the relationship of sunspot number and tilt angle to cosmic ray intensity. *Astrophys. J. Lett.* 551, (2), 189, 2001

- [14] Dorman, I.V., Dorman, L.I. Solar Wind Properties Obtained from the Study of the 11-Year Cosmic-Ray Cycle, *JGR* 72, 1543, 1967a
- [15] Dorman, I.V., Dorman, L.I. Cosmic Rays, No. 6. Nauka, Moscow, pp. 65, 100, 1967b
- [16] Dorman, L.I. Cosmic ray long-term variation: even–odd cycle effect, role of drifts and the onset of cycle 23. *Adv. Space Res.* 27 (3), 601–606, 2001
- [17] Droge, W. The rigidity dependence of solar particle scattering mean free paths. *Astrophys. J.* 537, 1073–1079, 2000
- [18] Droge, W. Solar particle transport in a dynamical quasi-linear theory. *Astrophys. J.* 589, 1027, 2003
- [19] El-Borie, M.A., Duldig, M.L., Humble, J.E. Interplanetary plasma and magnetic field observations at 1 AU. In: *Proceedings of 25th ICRC, Durban, South Africa*, pp. 317–320, 1997
- [20] Forbush Scott E, Three Unusual Cosmic-Ray Increases Possibly Due to Charged Particles from the Sun *Phys. Rev.* 70, 771, 1946
- [21] Ferreira S. E. S, Potgieter M.S., Long-Term Cosmic-Ray Modulation in the Heliosphere, *Astrophysical Journal* 603, 2, 744, 2008
- [22] Forbush, S. World-wide cosmic ray variations, 1937–1952. *Journal of Geophysical Research*, 59, 525-542, 1954
- [23] Fuji, Z., McDonald, F.B. Radial intensity gradients of galactic cosmic rays (1972–1995) in the heliosphere. *J. Geophys. Res.* 102, 24201, 1997
- [24] Fuji, Z., McDonald, F.B., Caballero-Lopez, R.A., Moraal, H. Radial intensity gradients and diffusion coefficients of cosmic rays in the outer heliosphere at solar maximum. In: *Proceedings of 28th ICRC, Japan*, pp. 3831–3838, 2003
- [25] Gil, A., Alania, M.V., Study of the cosmic rays transport problems using second order parabolic type partial differential equation, *Applied Mathematical Modelling*, 38, 3260-3268, 2014
- [26] Gupta, M., Mishra, V.K., Mishra, A.P. Correlation of the long-term cosmic ray intensity variations with sunspot numbers and tilt angle. *Indian J. Radio Space Phys.* 35, 387–395, 2006
- [27] Gushchina, R.T., Belov, A.V., Obridko, V.N., Shelting, B.D. The reflection in the long-term cosmic ray modulation of the cyclic variations of integral and partial indices of the solar magnetic field. In: *21st ECRS, Kosice*, 2008
- [28] Jokipii, J. R., Cosmic-Ray Propagation. I. Charged Particles in a Random Magnetic Field, *Astrophysical Journal*, vol. 146, p. 480, 1966
- [29] Jokipii, J.R., Coleman, Cosmic ray diffusion tensor and its variations observed with Mariner 4. *JGR* 73, 5495, 1968
- [30] Jokipii, J.R., Propagation of cosmic rays in the solar wind. *Rev. Geophys. Space Phys.* 9, 27–87, 1971
- [31] Lasuik J., Shalchi A., Time-dependent Perpendicular Transport of Energetic Particles for Different Turbulence Configurations and Parallel Transport Models, *Astrophysical Journal*, 847, 1, 2017
- [32] Le Roux, J. A.; Potgieter, M. S. The simulation of complete 11 and 12 year modulation cycles for cosmic rays in the heliosphere using a drift model with global merged interaction regions, *Astrophysical Journal*, 442, 847-851, 1995
- [33] Lockwood, J.A., Webber, W.R. Observations of the dynamics of the cosmic ray modulation. *J. Geophys. Res.* 89 (A1), 17–25, 1984
- [34] Lockwood, J.A., Webber, W.R. Comparison of the rigidity dependence of the 11-year cosmic ray variation at the earth in two solar cycles of opposite magnetic polarity. *J. Geophys. Res.* 101 (A10), 21573–21580, 1996
- [35] Matthaeus, Bieber Perpendicular diffusion and drift at intermediate cosmic-ray energies. *Astrophys. J.* 485, 655–659, 1997

- [36] Matthaeus, W.H., Qin, G., Bieber, J.W., Zank, G.P. *Astrophys. J.* 590, L53, 2003
- [37] Matthaeus, W.H., Minnie, J., Breech, B., Parhi, S., Bieber, J.W., Oughton, S. Transport of cross helicity and radial evolution of Alfvénicity in the solar wind. *GRL* 31, L12803, 2004
- [38] Mavromichalaki, H., Paouris, E., Karalidi, T., Cosmic-ray modulation: an empirical relation with solar and heliospheric parameters. *Solar Phys.* 245, 369, 2007
- [39] Moraal, H., Belov, A., and Clem, J. M.: Design and Coordination of Multi-station International Neutron Monitor Networks', *Space Sci. Rev.* 93, 285-303, 2000
- [40] Modzelewska, R., Iskra, K., Wozniak, W., **Siluszyk, M.**, Alania, M. V., Features of the galactic cosmic ray anisotropy in the solar cycle 24 and solar minima 23/24 and 24/25, *Solar Physics*, 294, 10, 148, 1-16, 2019
- [41] Modzelewska R., Bazilevskaya G. A., Boezio M., Koldashov S. V., Krainev M. B., Marcelli N., Mayorov A. G., Mayorova M. A., Munini R., Troitskaya I. K., Yulbarisov R. F., Luo X., Potgieter M. S., Aslam O. P. M., Study of the 27 Day Variations in GCR Fluxes during 2007–2008 Based on PAMELA and ARINA Observations, *Astrophysical Journal*, 904, 1, 2020
- [42] Mursula, K., Ulich, Th., A new method to determine the solar cycle length, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 25, NO. 11, 1837-1840, 1998
- [43] Nagashima, K., Morishita, J. 22-year modulation of cosmic rays associated with polarity reversal of polar magnetic field of the Sun. *Planet. Space Sci.* 28, 195, 1980
- [44] Palmer, I.D. Transport coefficients of low-energy cosmic rays in interplanetary space. *Rev. Geophys. Space Phys.* 20 (2), 335–351, 1982
- [45] Parker E N The passage of energetic charges particles through interplanetary space *Planet Space Science*, 13, 9-49 1965
- [46] Schalchi, A., Bieber, J.W., Matthaeus, W.H., Qin, G. *Astrophys. J.* 616, 617, 2004.
- [47] Shalchi, A., Schlickeiser, R. The parallel mean free path of heliospheric cosmic rays in composite slab/two-dimensional geometry. I. The damping model of dynamical turbulence. *Astrophys. J.* 604, 861, 2004
- [48] Shalchi, A., Li, G., Zank, G.P. Analytic forms of the perpendicular cosmic ray diffusion coefficient for an arbitrary turbulence spectrum and applications on transport of Galactic protons and acceleration at interplanetary shocks. *Astrophys. Space Sci.* 325, 99–111, 2010
- [49] Shalchi A., Perpendicular Transport of Energetic Particles in Magnetic Turbulence, *Space Sci Rev*, 216:23, 2020
- [50] Stozhkov Yu, I., Charakchyan, T.N. 11-year cosmic ray modulation and heliolatitude distribution of sunspots. *Geomagn. i Aeron.* 9 (5), 803– 808, 1969
- [51] Toptygin, I.N. *Cosmic Rays in Interplanetary Magnetic Fields*. D. Redel Publishing Company, Dordrecht, 1985
- [52] Usoskin, I.G., Kananen, H., Mursula, K., Tanskanen, P., Kovaltsov, G.A. Correlative study of solar activity and cosmic ray intensity. *J. Geophys. Res.* 103 (A5), 9567–9574, 1998
- [53] Wawrzynczak A. Alania M. V., Numerical Solution of the Time and Rigidity Dependent Three Dimensional Second Order Partial Differential Equation, *Lecture Notes in Computer Science, Parallel Processing and Applied Mathematics*, 6067, 105–114, 2009
- [54] Wawrzynczak A., Alania M.V., Modeling and data analysis of a Forbush decrease, *Advances in Space Research*, 45, 5, 622-631, 2010
- [55] Wibberenz, G., Ferreira, S.E.S., Potgieter, M.S., Cane, H.V. Time dependent 2d model compared with observations during the 1974 mini cycle. *Space Sci. Rev.* 97, 373–376, 2001

- [56] Webber, W.R., Lockwood, J.A. Characteristics of the 22-year modulation of cosmic rays as seen by neutron monitors. *J. Geophys. Res.* 93, 8, 1988
- [57] Zank, G.P., Matthaeus, W.H., Smith, C.W. Evolution of turbulent magnetic fluctuation power with heliospheric distance. *J. Geophys. Res.* 101 (A8, 12), 93–107, 1996
- [58] Usoskin, I.G., Kananen, H., Mursula, K., Tanskanen, P., Kovaltsov, G.A., Correlative study of solar activity and cosmic ray intensity. *J. Geophys. Res.* 103, (A5), 9567, 1998
- [59] Bazilevskaya, G.A., Svirzhevskaya, A.K. On The Stratospheric Measurements of Cosmic Rays. *Space Science Reviews* 85, 431–521, 1998

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

5.1. AGH - Kraków; PostDoc

Od maja 2016 do lipca 2018 byłem zatrudniony, na stanowisku PostDoc w projekcie NCN, OPUS 8, 2014/15/B/ST8/02315, który był zrealizowany w **Akademii Górniczo Hutniczej w Krakowie**. Kierownikiem projektu był prof. dr hab. Zbigniew Galias, tytuł projektu: ***”Optymalizacja struktur elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych w kontekście zwiększenia niezawodności zasilania”***.

Głównym celem badań przeprowadzanych w ramach projektu była poprawa niezawodności zasilania i obniżenie kosztów utrzymania co związane jest z jednym z najważniejszych kryteriów projektowych dla sieci dystrybucji energii. Obecnie dostępne metody są rzadko oparte na rzeczywistych założeniach oraz danych pozyskanych z istniejących systemów i nie pozwalają na kompleksową analizę niezawodności, oszacowania częstotliwości awarii, uwzględnienie topologicznych aspektów sieci, oraz często sprzecznych potrzeb dostawców i odbiorców.

Celem projektu było zidentyfikowanie i wykorzystanie możliwości optymalizacji struktury sieci dystrybucyjnej przy uwzględnieniu warunków operacyjnych, stanu technicznego poszczególnych elementów sieci, możliwości rekonfiguracji sieci oraz zmniejszenia wpływu awarii na odbiorców końcowych. W szerszej perspektywie, projekt może być przydatny dla rozwoju niektórych aspektów technologii sieci typu Smart Grid i aktywnego systemu zarządzania dystrybucją.

Cele szczególne to: opracowanie modeli niezawodnościowych systemów dystrybucji energii elektrycznej; opracowanie wymagań dotyczących metodyki planowania nowych struktur w kontekście ciągłości zasilania; opracowanie algorytmów planowania rozbudowy lub modernizacji istniejących struktur sieciowych przy uwzględnieniu różnych scenariuszy pracy sieci i założeń regulacyjnych; zastosowanie opracowanych metod do określenia optymalnej ciągłości zasilania dla danej struktury sieciowej z uwzględnieniem jej wielkości i lokalizacji, a także do projektowania i integracji mikrosieci i multi-mikrosieci; opracowanie jedno- i wielokryterialnych metod optymalizacji sieci dystrybucyjnych. Hipotezy naukowe założone w projekcie są następujące:

- Istnieje możliwość opracowania ścisłych modeli matematycznych do analizy niezawodnościowej elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych (w tym sieci typu Smart Grids) z uwzględnieniem potrzeb zarówno odbiorców końcowych jak i innych interesariuszy;
- Struktury sieci dystrybucyjnych mogą być zoptymalizowane w celu zmniejszenia skutków awarii, a w konsekwencji ograniczenia czasu braku zasilania w danym obszarze;
- Metody optymalizacji numerycznej są niezbędne do rozwiązywania problemów projektowania struktur sieci dystrybucyjnych uwzględniających niezawodność, usuwanie awarii i inne istotne kwestie; odpowiednio zaprojektowane algorytmy umożliwią, wraz z modelami opracowanymi w ramach projektu, na uzyskanie optymalnych rozwiązań decyzyjnych lub projektów będących kompromisem dla przyjętych założeń.

Projekt został zrealizowany, tzn., zostały utworzone planowane w projekcie algorytmy. Wyniki badań były prezentowane na branżowych konferencjach międzynarodowych, zostało opublikowanych kilka artykułów. Szczegółowe informacje oraz publikacje można znaleźć na stronie projektu:

Konferencje naukowe:

- Konferencja „Aktualne problemy w elektroenergetyce – APE'17”, Jastrzębia Góra, Poland, June 2017
S. Moskwa, S. Kozieł, M. **Siluszyk**, and Z. Galias. Ograniczenie oddziaływania skutków awarii w sieciach energetycznych na odbiorcę końcowego za pomocą sekcjonowania struktury sieciowej
- International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSES), Krakow, Poland, September 2018
S. Moskwa, S. Kozieł, M. **Siluszyk**, Z. Galias, Multiobjective Optimization Algorithm for Switch Allocation in Radial Power Distribution Grids

Opublikowane artykuły naukowe:

- S. Moskwa, S. Kozieł, M. **Siluszyk**, Z. Galias. Zastosowanie modelu pogodowego w optymalizacji lokalizacji punktów rozcięć w sieciach dystrybucyjnych, Przegląd Elektrotechniczny, 95(2) :117-122, DOI: 10.15199/48.2019.02.27, 2019
- A. Gil, R. Modzelewska, S. Moskwa, A. Siluszyk, M. **Siluszyk**, A. Wawrzynczak, S. Zakrzewska. Does time series analysis confirms the relationship between space weather effects and the failures of electrical grids in South Poland?, Journal of Mathematics in Industry, 9:7, DOI: 10.1186/s13362-019-0064-9 , 2019
- S. Moskwa, S. Kozieł, M. **Siluszyk**, and Z. Galias. Ograniczenie oddziaływania skutków awarii w sieciach energetycznych na odbiorce końcowego za pomocą sekcjonowania struktury sieciowej, Acta Energetica, pages 168-172, 2017
- S. Moskwa, S. Kozieł, M. **Siluszyk**, Z. Galias, Multiobjective Optimization Algorithm for Switch Allocation in Radial Power Distribution Grids, International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSES), pages 157-160, 10.1109/ICSES.2018.8507274, 2018
- **Siluszyk**, M., Moskwa, Sz., Blackout in Europe in 21st Century – Preliminary Study, Proc. of 10th CASTR, vol. VIII, p. 123-131, ISBN 978-83-7051-956-8, Siedlce, Poland, 2019

5.2. UPH Siedlce;

Kontynuacją podobnej tematyki badawczej rozpoczętej na stażu naukowym, realizowanym po powrocie ze stażu z AGH, był mój udział, jako konsultanta naukowego w projekcie "*Bezpieczeństwo energetycznej infrastruktury krytycznej w aspekcie pogody kosmicznej*" Projekt SONATA BIS 6 finansowany przez Narodowe Centrum Nauki w Krakowie, nr. DEC-2016/22/E/HS5/00406. Kierownikiem grantu była dr hab. Agnieszka Gil-Świdorska, prof. UPH, czas realizacji grantu 2017–2021. Miejsce realizacji Wydział Nauk Ścisłych, UPH w Siedlcach.

Głównym celem tego projektu była identyfikacja i analiza awarii rejestrowanych w Polsce przez operatorów energetycznych linii przesyłowych oraz odnalezienie powiązań pomiędzy występowaniem tychże awarii infrastruktury krytycznej a krótkookresowymi, nagłymi zmianami zachodzącymi na Słońcu. Przedstawione przez mnie cykl prac [H1] – [H8] stanowi wsparcie dla badań nad problematyką pogody kosmicznej, ponieważ GCR jest niebezpośrednim źródłem informacji na temat zmienności Słońca.

Informacje szczegółowe, wyniki badań, publikacje, udział w konferencjach można znaleźć na stronie projektu:

<https://pogodakosmiczna.uph.edu.pl/>

Wybrane konferencje naukowe:

- 43rd COSPAR Scientific Assembly 2021, Sydney, Australia
A. Gil, R. Modzelewska, Sz. Moskwa, A. **Siluszyk**, M. Siluszyk, A. Wawrzaszek and A. Wawrzynczak, Solar impact via geomagnetic disturbances on transmission lines in Poland,
- EGU General Assembly 2021
A. Gil, M. Berendt-Marchel, R. Modzelewska, Sz. Moskwa, A. Siluszyk, M. **Siluszyk**, L. Tomasik, A. Wawrzaszek, A. Wawrzynczak, Geoelectric field as a GIC proxy during the intense geomagnetic storms and Polish transmission lines failures occurrence,
- Heliophysics2050 Workshop May 2021
A. Gil, M. Berendt-Marchel, R. Modzelewska, Sz. Moskwa, A. Siluszyk, M. **Siluszyk**, L. Tomasik, A. Wawrzaszek, A. Wawrzynczak, Analysis of Strong Geomagnetic Storms and Electrical Grid Failures in Poland for the Period 2010–2014,
- Space Weather Workshop 2021:
A. Gil, M. Berendt-Marchel, R. Modzelewska, Sz. Moskwa, A. Siluszyk, M. **Siluszyk**, L. Tomasik, A. Wawrzaszek, A. Wawrzynczak, Analysis of strong geomagnetic storms and electrical grid failures in Poland using the geoelectric field as a GIC proxy,
- EGU General Assembly 2020
A. Gil, R. Modzelewska, Sz. Moskwa, A. Siluszyk, M. **Siluszyk**, A. Wawrzynczak, Geoeffectiveness of the ‘Battle of Grunwald day’ in 2012,
- European Space Weather Symposium (ESWS) 2020:
A. Gil, R. Modzelewska, Sz. Moskwa, M. Pozoga, A. Siluszyk, M. **Siluszyk**, L. Tomasik, A. Wawrzaszek, A. Wawrzynczak, Geoeffectiveness of 14-15 July 2012 storm and its indicators in Polish transmission lines
- NMDB@Home: Virtual symposium on cosmic ray studies with neutron detectors, 2020: A. Gil, R. Modzelewska, Sz. Moskwa, A. **Siluszyk**, M. Siluszyk, A. Wawrzaszek, A. Wawrzynczak Signs of geoeffective space weather events in cosmic rays during the first half of the solar cycle 24,

Wybrane opublikowane artykuły naukowe:

- Gil A, Berendt-Marchel M, Modzelewska R, Moskwa S, Siluszyk A, **Siluszyk M.**, Tomasik L., Wawrzaszek A., Wawrzynczak A., Evaluating the relationship between strong geomagnetic storms and electric grid failures in Poland using the geoelectric field as a GIC proxy, *Journal of Space Weather and Space Climate*, 11, 30, 2021
- Gil A., Modzelewska R., Moskwa Sz., Siluszyk A., **Siluszyk M.**, Wawrzynczak A., Pozoga M., Domijanski S., Transmission Lines in Poland and Space Weather Effects, *Energies*. - Vol. 13, 9, 2020
- Gil A., Modzelewska R., Moskwa Sz., Siluszyk A., **Siluszyk M.**, Wawrzynczak A., Pozoga M., Tomasik Ł., The solar event of 14 – 15 July 2012 and its geoeffectiveness /. // *SOLAR PHYSICS*. - Vol. 295, 10, 2020
- Gil A., Modzelewska R., Moskwa Sz., Siluszyk A., **Siluszyk M.**, Wawrzynczak A., Zakrzewska S., Does time series analysis confirms the relationship between space weather effects and the failures of electrical grids in South Poland? , *Journal of mathematics in industry*, Vol. 9, 7, 2019

5.3. LAW Dęblin;

Kolejną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, jest mój merytoryczny udział w przygotowaniu wniosku OPUS, który został złożony przez **Lotniczą Akademię Wojskową w Dęblinie**. Tytuł projektu: „*Metoda oceny pogody kosmicznej oddziałującej na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych*”. Wniosek został złożony 15.12.2021.

W 2020/2021 byłem zewnętrznym egzaminatorem, recenzentem pracy doktorskiej (Doctor of Philosophy in Faculty of Natural and Agricultural Sciences, Space Physics) z astrofizyki, dotyczącej modulacji cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego w 3-D heliosferze. Promotorem rozprawy doktorskiej był Prof SES Ferreira, zaś promotorem pomocniczym Prof NE Engelbrecht, procedura nadania stopnia doktora odbyła się w North-West University – Potchefstroom Campus w Republice Południowej Afryki.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

6.1. Osiągnięcia w dydaktyce

Po obronie doktoratu w 2004, w latach 2005–2021 byłem promotorem 45 prac magisterskich i 7 prac licencjackich z matematyki oraz 22 prac inżynierskich z informatyki. Byłem również recenzentem prac dyplomowych.

Opracowałem skrypty dla studentów do 2 przedmiotów:

- *Technologie Informacyjne, Collegium Mazovia, 2009*
- *Statystyka, Collegium Mazovia, 2009*

Przygotowałem od początku 2 nowe laboratoria dydaktyczne; autorskie opracowanie doświadczeń oraz przygotowanie instrukcji do ćwiczeń laboratoryjnych na kierunku inżynierskim Informatyka do przedmiotów:

- *Podstawy Techniki Cyfrowej, 2010*
- *Podstawy Miernictwa, 2011*

Współautorstwo pozycji książkowych:

- [1] *Repetytorium z zadaniami dla uczestników Olimpiady Wiedzy Technicznej XXXI – XXXV*, ISBN: 978-83-925315-6-2, Marek Siłuszyk, Mirosław Symanowicz, 2009
- [2] *Sesja naukowa studentów matematyki: materiały konferencyjne 23 IV 2008 / red. nauk. M. Siłuszyk*, ISBN: 978-83-7051-522-5, 2009
- [3] *Repetytorium z zadaniami dla uczestników Olimpiady Wiedzy Technicznej XXXI – XXXVII*, ISBN: 978-83-930638-7-1, Marek Siłuszyk, Mirosław Symanowicz, 2011
- [4] *Wybrane zastosowania technologii informatycznych opracowanych w ramach studenckich kół naukowych.*, ISBN: 978-83-63169-12-1, 2012
- [5] *Computer algebra systems in teaching and research. Vol. 8 / Marek Siłuszyk (eds.)* Siedlce University of Natural Sciences and Humanities, s. 249. ISBN: 978-83-7051-956-8, 2019
- [6] *Computer algebra systems in teaching and research. Vol. 9 / Marek Siłuszyk (eds.)* Siedlce University of Natural Sciences and Humanities, s. 249. ISBN: 978-83-66541-17-7, 2020
- [7] *Computer algebra systems in teaching and research. Vol. 10 / Marek Siłuszyk (eds.)* Siedlce University of Natural Sciences and Humanities, 238. ISBN: 978-83-66541-85-6, 2021

W latach 2019-2020 przygotowałem i opracowałem skrypty do zajęć laboratoryjnych w ramach projektu: „Inżynier z Praktyką Potrzebny od Zaraz!” dla kierunku studiów Inżynieria Procesów Technologicznych.

1. *Podstawy Fizyki*
2. *Fizyka Techniczna*
3. *Miernictwo*
4. *Elektrotechnika i elektronika I*

Dydaktyka to prowadzenie różnych form zajęć ze studentami z wielu różnych przedmiotów: Wykłady/Ćwiczenia/Laboratoria/Seminaria, na przestrzeni lat 1999-2021:

1. Analiza Matematyczna I
2. Analiza Matematyczna II
3. Algebra liniowa
4. Matematyka
5. Metody numeryczne
6. Metody numeryczne w finansach (*Mathematica*)
7. Metody optymalizacji
8. Matematyczne modelowanie systemów
9. Technologia Informacyjna
10. Informatyka (programowanie: C++)
11. Równania różniczkowe
12. Metody probabilistyczne
13. Rachunek prawdopodobieństwa
14. Statystyka
15. Matematyka dyskretna
16. Podstawy fizyki
17. Fizyka
18. Fizyka techniczna
19. Podstawy miernictwa
20. Podstawy elektroniki
21. Podstawy techniki cyfrowej
22. Metody obliczeniowe
23. Badania operacyjne
24. Ekonometria
25. Seminarium dyplomowe
26. Problemy społeczne i zawodowe informatyki
27. Mathematics (*in English*) – dla stypendystów NAWA
28. Physics (*in English*) – dla stypendystów NAWA

6.2. Osiągnięcia organizacyjne

- Przewodniczący Wydziałowej Komisji Wyborczej na WNS, UPH - 2004 -2016,
- Członek Rady Wydziału Nauk Ścisłych -od 2012,
- Koordynator Instytutowy ds. Erasmus -od 2008,
- Koordynator Wydziałowy ds. CEEPUS -od 2010,
- Egzaminator z ramienia NAWA (Narodowa Agencja Wymiany Akademickiej) -od 2014,
- Ekspert NAWA – od 2018
- Członek Komisji Rektorskiej ds. Mieszkaniowych UPH -od 2005,
- Członek Komisji Wydziałowej ds. promocji i rozwoju -od 2012, od 2020 przewodniczący
- Członek Komitetu Organizacyjnego międzynarodowej konferencji CASTR -od 2008,
- Główny Organizator międzynarodowej konferencji CASTR, Siedlce 25-29.09.2019
- Twórca strony internetowej Katedry Fizyki 2008,
- Egzaminator ECDL - od 2008,
- Egzaminator ECCC - od 2010,
- Wymiana międzynarodowa Erasmus – koordynator, wyjazdy: Słowacja, Ruzomberok 2007; Słowacja, Zilina 2014
- Recenzent publikacji naukowych - od 2008
- Pełnomocnik Dziekana WNS ds. studentów na kierunku Matematyka, 2014 –2015
- Członek PTM, oddział Białystok od 2016
- Projekty Unijne Colegium Mazovia: IdeaGORA-2012-2015 oraz Mistrz i Uczeń – wykonawca, 2013-2015
- Projekt B+R, Colegium Mazovia: *Okna miejskie o podwyższonej izolacyjności akustycznej i termicznej*, 2019
- Colegium Mazovia: projekt POWR.03.01.00-00-T114/18 „Przestrzeń współpracy – przestrzeń rozwoju”, 2021

6.3. Osiągnięcia na polu popularyzacji nauki

- **Medal Komisji Edukacji Narodowej -2021**
- **Finalista Ogólnopolskiego Konkursu Popularyzator Nauki (Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego i Polskiej Agencji Prasowej) – 2015**
- **Nagroda Złotego Jacka** (przyznana przez **Siedleckie Towarzystwo Naukowe**) za działalność popularyzatorską – 2019
- **Główny pomysłodawca i organizator konkursu matematycznego dla przedszkolaków Żyrafka: 2016, 2017, 2018, 2019**
- **Główny pomysłodawca i organizator turnieju matematycznego dla uczniów szkół podstawowych i średnich: MateMAXUS -2017, 2018, 2019, 2021**
- **Wielki Zderzacz Hadronów – LHC, współorganizator, UPH, Siedlce, 2010**
- **Uniwersytet dziecięcy UPH-prowadzenie zajęć -Fizyka eksperymentalna -2012, 2015, 2019**
- **Uniwersytet otwarty UPH-prowadzenie zajęć - 2016, 2019**
- **Festiwal Nauki i Sztuki - Siedlce- prelegent w latach: 2009, 2014, 2019**
- **Festiwal Nauki i Sztuki - Łuków- prelegent w latach: 2013, 2014, 2015**
- **Festiwal Nauki i Sztuki - Cegłów- prelegent w latach: 2005, 2015**
- **Noc Biologów – UKSW- Warszawa 15.01.2016**
- **XIX Dzień Nauki ZS Zielonka – 6.12.2019**
- **Dni Otwarte UPH, -organizator – od 2010**
- **I dzień Wiosny z Wydziałem Nauk Ścisłych –współorganizator –od 2012**
- **45h wykładu na XLV lecie UPH –pomysłodawca i organizator 2014,**
- **Oferta edukacyjna WNS dla szkół – zajęcia z Fizyki dla przedszkoli, SP, gimnazjum oraz szkół ponadgimnazjalnych, –organizator i prowadzący -od 2010**
- **Zajęcia dla młodzieży projekty: Szkoły z Krzesk Królowa Niwa, Izdebki Kosny - 2010, 2012**
- **Zajęcia dla dzieci SP4 -Siedlce, MP3-Siedlce - organizacja i prowadzenie - 2010, 2012, 2014**
- **Zajęcia dla dzieci z przedszkoli z Siedlec: Chatka Pikabu i MP23 - organizacja i prowadzenie -2014, 2016**
- **Zajęcia dla młodzieży projekt: Szkoły z Olszyc Szlachecki - organizacja i prowadzenie - 2019**
- **Warsztaty dla nauczycieli w ramach Konferencji Polskiego Towarzystwa Matematycznego -2013**
- **Współpraca z NOT, warsztaty z optymalizacji dla uczestników Olimpiady Wiedzy Technicznej od 2009**
- **Egzaminator OWT oddział ostrołęcko-siedlecki -od 2008**
- **Projekt „*Jak zostać odkrywca!*”, opracowanie zajęć z matematyki i fizyki, prowadzenie z fizyki 2018-2020**
- **Projekt „*Wsparcie uczelni szansą na jej rozwój*”, ekspert merytoryczny z matematyki, 2018-2020.**
- **Projekt „*Inżynier z Praktyką Potrzebny od Zaraz!*” ekspert merytoryczny, 2018-2020.**
- **Współpraca merytoryczna z Mobilnym Planetarium SKY, opracowanie oraz prowadzenie zajęć o tematyce kosmicznej, od 2015**
- **Współorganizator konferencji i warsztatów „Soroban – komputer w głowie“, WNS, UPH, 4.10.2019**
- **Opiekun koła naukowego studentów matematyki: „GRAF”, WNSP, UPH Siedlce, od 2020**

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

Studia Podyplomowe, kursy

- 1998 – 1999 Podyplomowe Studium Podstaw Informatyki
2001 – Kurs doskonalący w zakresie pomiaru dydaktycznego
2002 – Fizyka z Zastosowaniem Technologii Informatycznych w Jej Nauczaniu
–studia podyplomowe
2002 – Certyfikat Nauczyciela Integracyjnego
2014 – Centrum Zastosowań Matematyki, warsztaty „Matematyka dla przemysłu i gospodarki”

Nagrody i wyróżnienia

- **Stypendysta FNP - grant konferencyjny wyjazdowy – Chiny 2006**
- Nagroda Rektora Collegium Mazovia za działalność organizacyjną – 2008
- Nagroda zespołowa Rektora UPH I stopnia za działalność naukową – 2009
- Nagroda Rektora Collegium Mazovia za działalność naukową – 2009
- **Stypendysta w ramach VI TEKLA – stolica staży –2014**
- Nagroda Rektora UPH III stopnia za działalność naukową – 2015
- **Laureat FNP konkursu eNgage II/2014 projekt „Praktyka najlepsza taktyka!”, 2015**
- **Finalista Ogólnopolskiego Konkursu Popularyzator Nauki (MNiSW i PAP) – 2015**
- Medal za zasługi dla siedleckiej uczelni – 2016
- Nagroda III stopnia Rektora UPH za działalność naukową – 2019
- Nagroda III stopnia Rektora UPH za wyteżoną pracę na rzecz UPH – 2021
- **Nagroda Złotego Jacka (przyznana przez Siedleckie Towarzystwo Naukowe) za działalność popularyzatorską – 2019**
- **Medal Komisji Edukacji Narodowej -2021**

Aktywny udział w wielu Konferencjach międzynarodowych (1999-2021)

1. 37th International Cosmic Ray Conference (ICRC) Berlin, Niemcy, 12.07-23.07.2021 - zdalna
2. NMDB@Home: Virtual symposium on cosmic ray studies with neutron detectors, 13–17.07.2020
3. 10th International Workshop CASTR, Siedlce, 25-29.09.2019
4. Fizyka w Lotnictwie, Dęblin, 16-18.09.2019
5. 36th International Cosmic Ray Conference (ICRC) Madison, USA, 24.07-1.08.2019
6. Astroparticle Physics in Poland, Warsaw, 21-22.06.2019

7. International Conference on Signals and Electronic Systems, ICSES 2018, 10-12.09.2018
8. 42th COSPAR Scientific Assembly Pasadena, USA, 14-22.07.2018
9. X Interdyscyplinarna Konferencja Naukowa, Lublin, TYGIEL 17-18.03.2018
10. 9th International Workshop CASTR, Siedlce, 18-22.10.2017
11. Konferencja Astrofizyka Cząstek w Polsce, Kraków, 20-22.09.2017
12. Aktualne problemy w elektroenergetyce, Jastrzębia Góra, 7-9.06.2017
13. 25th European Cosmic Ray Symposium Italy, Torino, 4-9.09.2016
14. 8th International Workshop CASTR, Siedlce, 22-24.10.2015
15. Astroparticle Physics in Poland, Warsaw, 11-13.05.2015
16. 34th International Cosmic Ray Conference (ICRC) The Hague, The Netherlands, 30.07-6.08.2015
17. XXVII Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Kraków, Polska, 2014
18. 24th European Cosmic Ray Symposium Kiel, Germany, 1.09-5.09. 2014
19. 40th COSPAR Scientific Assembly Moscow, Russia, 2-10.08.2014
20. 7th International Workshop CASTR, Siedlce, 2013
21. The 33rd International Cosmic Ray Conference, Brazil, Rio de Janeiro, 2013
22. 6th International Workshop CASTR, Siedlce, 2011
23. 38th COSPAR, Bremen, Niemcy, 2010
24. 22nd (ECRS) European Cosmic Ray Symposium, Turku, Finlandia, 2010
25. The 31st International Cosmic Ray Conference, Łódź, Poland, 2009
26. Space Climate School and Symposium, Saariselka, Finland, 2009
27. 5th International Workshop CASTR, Siedlce, 2009
28. 21st (ECRS) European Cosmic Ray Symposium, Koszyce, Słowacja, 2008
29. Perspektywy astrofizyki cząstek, Krakow, 14-18.10.2007
30. 4th International Workshop CASTR, Siedlce, 2007
31. 36th COSPAR, Pekin, Chiny, 2006
32. XIX Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Kraków, Polska, 2006
33. 29th (ICRC) International Cosmic Rays Conference, Pune, Indie 2005
34. XVIII Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Zakopane, Polska, 2005
35. 35th COSPAR, Paryż, Francja, 2004
36. XVII Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Zakopane, Polska, 2004
37. XVI Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Zakopane, Polska, 2003
38. 18th European Cosmic Ray Symposium, Moskwa, Rosja, 2002
39. 27th (ICRC) International Cosmic Rays Conference, Hamburg, Niemcy, 2001
40. 3rd International Workshop on "Mathematica" in Teaching and Research, Siedlce, Polska, 2001
41. 33rd COSPAR, Warszawa, Polska, 2000
42. 17th (ECRS) European Cosmic Ray Symposium, Łódź, Polska, 2000
43. 2nd International Workshop on "Mathematica" in Teaching and Research, Siedlce, Polska, 2000
44. Konferencja Młodych Asystentów i Studentów, Siedlce, Polska, 1999

Wykaz prac przedstawionych na konferencjach, lista publikacji 1999-2021

1. Iskra, K. **Siluszyk, M.** Wozniak. W. Study of rigidity spectrum of galactic cosmic ray intensity variations in 24 cycle of solar activity. Computer algebra systems in teaching and research. Vol. 10 /Siedlce University of Natural and Humanities, ISBN- 978-83-66541-85-6., pp. 45-60, 2021
2. Gil, A., Modzelewska, R., Moskwa, Sz., Siluszyk, A., **Siluszyk, M.**, Wawrzaszek, A., Signs of geoeffective space weather events in cosmic rays during the first half of the solar cycle 24. Proceedings of the 1st virtual symposium on cosmic ray studies with neutron detectors. Kiel: Universitätsverlag Kiel | Kiel University Publishing. S. 119–124, <https://doi.org/10.38072/2748-3150/p14>, 2021
3. Gil, A., Berendt-Marchel, M., Modzelewska, R., Moskwa, S., Siluszyk, A., **Siluszyk, M.**, Tomasik, L., Wawrzaszek, A., and Wawrzynczak, A., Geoelectric field as a GIC proxy during the intense geomagnetic storms and Polish transmission lines failures occurrence, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-11822, Bibcode: 2021EGUGA..2311822G, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-11822>, 2021.
4. Gil, A., Berendt-Marchel M., Modzelewska, R. Moskwa, Sz. Siluszyk, A. **Siluszyk, M.**, Tomasik, L., Wawrzaszek, A., Wawrzynczak, A., Signatures of geoeffective space weather events in cosmic rays during the ascending phase of the solar cycle 24, PoS(ICRC2021), 1266, 2021
5. Gil, A., Berendt-Marchel M., Modzelewska, R., Moskwa, S, Siluszyk, A, **Siluszyk, M.**, Tomasik, L., Wawrzaszek, A., Wawrzynczak, A., Evaluating the relationship between strong geomagnetic storms and electric grid failures in Poland using the geoelectric field as a GIC proxy, Journal of Space Weather and Space Climate 11, 30, 2021
6. **Siluszyk, M.**, Iskra, K., Modeling the Time Delay Problem of Galactic Cosmic Ray Flux in Solar Cycles 21 and 23, SOLAR PHYSICS 295 (5), 10.1007/s11207-020-01628-w, 2020
7. Gil, A., Modzelewska, R., Moskwa, Sz., Siluszyk, A., **Siluszyk, M.**, Wawrzynczak, A., Pozoga, M., Tomasik, L., The solar event of 14 – 15 July 2012 and its geoeffectiveness, SOLAR PHYSICS. - Vol. 295, no 10, art. no 135, s. 1-16., ISSN 0038-0938, 1573-093X, 2020
8. Gil, A., Modzelewska, R., Moskwa, Sz., Siluszyk, A., **Siluszyk, M.**, Wawrzynczak, A., Transmission Lines in Poland and Space Weather Effects, Energies 13 (9), pp. 2359, doi:10.3390/en13092359, 2020
9. Wozniak, W., Iskra, K., **Siluszyk, M.**, Modzelewska, R., Wolinski, P., Sere dyn, T., Zienkiewicz, T., The cone of acceptance and magnetic rigidity cutoff of galactic cosmic ray particles for different models of the International Geomagnetic Reference Field from 1965-2015 in the Deblin airport, Poland, Kinematika i fizika nebesnyh tel, vol. 36, issue 1, pp. 85-96, [10.15407/kfnt2020.01.085](https://doi.org/10.15407/kfnt2020.01.085), 2020
10. **Siluszyk, M.**, Iskra, K, Modzelewska, R., Gil, A., Wawrzynczak, A., Wolinski, P., Wspomnienie o prof. zw dr hab. nauk fizyczno-matematycznych Michaelu Ałanii, WE, index 38113, 07, 2020
11. **Siluszyk, M.**, Wolinski, P., Szablowski, M., Engineering Investigation using CoachLab II+ Problem of Sound Reduction Coefficient – Windows Tests, CASTR, vol. IX p. 126-141, ISBN 978-83-66541-17-7, Siedlce, Poland, 2020
12. Wozniak, W., Iskra, K., **Siluszyk, M.**, Borkowski, M., Zienkiewicz, T., Mathematical description of the Movement of Charged Particles in the Earth’s Magnetic Fields, CASTR, vol. IX p. 189- 203, ISBN 978-83-66541-17-7, Siedlce, Poland, 2020
13. Wozniak, W. Iskra, K, **Siluszyk, M.**, Modzelewska, R., Wolinski, P., Sere dyn, T., Zienkiewicz, T., The Cone of Acceptance and Magnetic Rigidity Cutoff of Galactic Cosmic Ray Particles for Different Models of the International Geomagnetic Reference

Field from 1965–2015 in the Deblin Airport, Poland, ISSN 0884-5913, Kinematics and Physics of Celestial Bodies, Vol. 35, No. 6, pp. 295–307, 2019

14. Siluszyk, A., Gil, A., Modzelewska, R., Moskwa, Sz., **Siluszyk, M.**, Wawrzynczak, A., Neural net clustering in the study of electrical grids failures in relation to geomagnetic storms, Journal of Physics: Conference Series, 1391, 012107, 2019
15. Modzelewska, R., Iskra, K., Wozniak, W., **Siluszyk, M.**, Alania, M. V., Features of the galactic cosmic ray anisotropy in the solar cycle 24 and solar minima 23/24 and 24/25, Solar Physics, 294, 10, 148, pp.1-16, 2019
16. Iskra, K., **Siluszyk, M.**, Alania, M.V., Wozniak, W., Experimental Investigation of the Delay Time in Galactic Cosmic Rays Flux in Different Epochs of Solar Magnetic Cycles: 1959–2014, Solar Physics, 294, 9, 115, 2019
17. Gil, A., Modzelewska, R., Moskwa, Sz., Siluszyk, A., **Siluszyk, M.**, Wawrzynczak, A., Zakrzewska, S., Does time series analysis confirms the relationship between space weather effects and the failures of electrical grids in South Poland?, JOURNAL OF MATHEMATICS IN INDUSTRY, Volume: 9, Article Number: 7, 2019
18. Moskwa, Sz., Koziel, S., **Siluszyk, M.**, Galias Z., Application of Weather Model for Optimal Switch Placement in Distribution Power Grids, PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, Volume: 95, Issue: 2, Pages: 117-122, Published: 2019
19. Modzelewska, R., Gil, A., Wawrzynczak, A., **Siluszyk, M.**, Iskra, K., Alania, M., Heliospheric modulation of cosmic rays, Warszawa, Astrofizyka cząstek w Polsce, 20-21.05. 2019
20. **Siluszyk, M.**, Moskwa, Sz., Blackout in Europe in 21st Century – Preliminary Study, Proc. of 10th CASTR, vol. VIII, p. 123-131, ISBN 978-83-7051-956-8, Siedlce, Poland, 2019
21. Wolinski, P., Wozniak, W. Iskra, K, **Siluszyk, M.**, Alania, M., Study of the IMF turbulence in relations with the Long –Term Variations of GCR intensity for different Polarities of Solar Global Magnetic Field (1969–2011) Proc. of 10th CASTR, vol. VIII, p. 178- 83, ISBN 978-83-7051-956-8, Siedlce, Poland, 2019
22. Gil A., Modzelewska R., Moskwa Sz., Siluszyk A., **Siluszyk M.**, Wawrzynczak A., Indicators of space weather events in cosmic rays during the solar cycle 24, PoS, (ICRC2019), 1079, 2019
23. Iskra, K. Wozniak, W., **Siluszyk, M.**, Modzelewska, R., Alania, M., Features of the Cosmic Ray Anisotropy in the Minima for # 23 -25 Solar Cycles, PoS, (ICRC2019), 1085, 2019
24. **Siluszyk, M.**, Iskra, K, Wozniak, W. Alania, M., Experimental investigation of Delay Time Problem in Galactic Cosmic Rays Stream in Solar Cycles: from 19 to 24, PoS, (ICRC2019), 1152, 2019
25. **Siluszyk, M.**, Iskra, K., Wozniak, W., Modzelewska, R., Sere dyn, T., Zienkiewicz T. The cone of acceptance and magnetic rigidity cutoff of GCR particles for different models of the IGRF from 1965-2015 in the Deblin airport, Poland, PoS, (ICRC2019), 1153, 2019
26. **Siluszyk M.**, Iskra K., Alania, M.V., Miernicki S., Interplanetary Magnetic Field Turbulence and Rigidity Spectrum of the Galactic Cosmic Rays Intensity Variation (1968-2012) Journal of Geophysical Research – Space Physics, Volume 123, Issue 1, Pages 30–38, DOI: 10.1002/2017JA023994, 2018,
27. Moskwa, S., Koziel, S., **Siluszyk, M.**, Galias, Z. Multiobjective Optimization for Switch Allocation in Radial Power Distribution Grids, 2018 International Conference on Signals and Electronic Systems, ICSES 2018 – Proceedings, 8507274, pp. 157-160, 2018
28. Wozniak, W. Iskra, K, Modzelewska, R., **Siluszyk, M.**, Alania, M., Wolinski, P., The asymptotic directions and the Magnetic Rigidity Cutoff of Cosmic Ray Particles for Siedlce (Poland) using Different Models of the International Geomagnetic Reference Field for 1965–2015, CASTR, vol. VII, ISSN 2300-7397, Siedlce, Poland Published: 2018

29. **Siluszyk, M.**, Alania, M., Miernicki, S., Iskra, K., Theoretical Investigation of Delay Time in Galactic Cosmic Rays Flux in Different Epochs of Solar Activity, 42nd COSPAR Scientific Assembly, Pasadena, USA, 2018
30. **Siluszyk, M.**, Alania, M., Iskra, K., Wozniak, W., Experimental Study of Delay Time Problem in Galactic Cosmic Rays Flux in Different Epochs of Solar Activity: 1964-2008, 42nd COSPAR Scientific Assembly, Pasadena, USA, 2018
31. **Siluszyk, M.**, Alania, M., Iskra, K., Wozniak, W., Wolinski, P., Theoretical Modeling of the Diurnal Anisotropy in Periods Minima and Near Minima of Solar Activity (cycles: 23-24), 42nd COSPAR Scientific Assembly, Pasadena, USA, 2018
32. Gil, A., Modzelewska, R., **Siluszyk, M.**, Wawrzynczak, A., Moskwa, Sz., Failures in electrical grids in southern Poland in 2010 and 2014 in relation to space weather effects, 42nd COSPAR Scientific Assembly, Pasadena, USA, 2018
33. **Siluszyk M.**, Matematyczny model opisujący rozprzestrzenianie się cząstek galaktycznego promieniowania kosmicznego w 23 cyklu, X Interdyscyplinarna Konferencja Naukowa TYGIEL, 2018
34. Wozniak W., Iskra K., Modzelewska, R **Siluszyk M.**, Alania M., Wolinski P., The asymptotic directions and the magnetic rigidity cut-off of cosmic ray particles for Siedlce (Poland) using different models of the International Geomagnetic Reference Field for 1965-2015, Proc. of 9th CASTR, Siedlce, Poland, 2017
35. **Siluszyk, M.** Theoretical investigation of galactic cosmic rays flux based on the experimental data in odd solar cycles, Proceedings of 9th CASTR, Siedlce, Poland, 2017
36. Miernicki, S. Iskra, K. **Siluszyk, M.** Alania, M. Wozniak, W. Study of the rigidity spectrum of the long-term variations of galactic ray intensity in relations with turbulence of the interplanetary magnetic field: 1968-2012, Proceedings of 9th CASTR, Siedlce, Poland, 2017
37. Moskwa Sz., Kozieł S., **Siluszyk M.**, Galias Z., Ograniczenie oddziaływania skutków awarii w sieciach energetycznych na odbiorcę końcowego za pomocą sekcjonowania struktury sieciowej, Acta Energetica, Bezpieczeństwo energetyczne, 168-173, 2017
38. **Siluszyk M.**, Iskra K., Alania, M.V., Miernicki S., An Influence of the Structural Changes of the Interplanetary Magnetic Field Turbulence on the Rigidity Spectrum of the Galactic Cosmic Rays Intensity Variation (1968-2012) ,41st COSPAR, D1.2-43-16., 2016
39. Iskra, K. Alania, M., Modzelewska, R., **Siluszyk, M.**, Wozniak, W., Wolinski, P., The role of drift on diurnal anisotropy of galactic cosmic rays in different periods of solar magnetic cycles, The 34th International Cosmic Ray Conference Hague, Proceeding of Science, Volume 236, DOI: <https://doi.org/10.22323/1.236.0141> 2016
40. **Siluszyk M.**, Iskra, K., Alania, M., Miernicki, S, features of the interplanetary magnetic field turbulences in different epochs of solar activity, The 34th International Cosmic Ray Conference Hague, Proceeding of Science, Vol. 236, DOI: <https://doi.org/10.22323/1.236.0125> , 2016
41. Iskra, K., Alania, M., Modzelewska, R., **Siluszyk, M.**, Wozniak, W., Wolinski, P. The role of drift on diurnal anisotropy of galactic cosmic rays in different periods of solar magnetic cycles Proceedings of Science. - Vol. 236, 30-July-2015, 2015, Article number 141, p. 1-7
42. **Siluszyk, M.**, Iskra, K., Alania, M., Miernicki, S. Features of the interplanetary magnetic field turbulences in different epochs of solar activity, Proceedings of Science. - Vol. 236, 30-July-2015, Article number 125, p. 1-6, 2015
43. Alania, M., Iskra, K., **Siluszyk, M.** Experimental and Theoretical study of the long period variations of galactic cosmic ray intensity, Proceedings of Science, 30-July-2015,148 , 2015
44. Alania, M., Iskra, K., **Siluszyk, M.**, Miernicki, S. Features of long period variations of galactic cosmic ray intensity in relations with the turbulence of the interplanetary magnetic field in 1968-2014, Proceedings of Science, 30-July-2015, 394, 2015

45. **Siluszyk M.**, Iskra K., Alania, M.V., 2-D Modelling of Long Period Variations of Galactic Cosmic Ray Intensity, *Journal of Physics: Conference Series* 632, 012080, 2015
46. Iskra K., **Siluszyk M.**, Alania, M.V, Rigidity spectrum of the long-period variations of the galactic cosmic ray intensity in different epochs of solar activity, *Journal of Physics: Conference Series* 632 012079, 2015
47. Iskra, K., Modzelewska, R., **Siluszyk, M.**, Alania M., Wozniak, W., Wolinski, P., The estimation of the parameters characterizing the galactic cosmic ray modulation based on the measurements of the anisotropy in different sectors of the interplanetary magnetic field, *Proceedings of 8th CASTR*, Siedlce, Poland, 2015
48. **Siluszyk, M.**, Theoretical and experimental study of the 11-year variations of galactic cosmic ray intensity, *Proceedings of 8th CASTR*, Siedlce, Poland, 2015
49. **Siluszyk, M.**, Iskra, K., Alania, M., Miernicki S., Properties of the interplanetary magnetic field turbulence in different cycles of solar activity, *Proceedings of 8th CASTR*, Siedlce, Poland, 2015
50. **Siluszyk, M.**, Iskra K., Alania, M.V., Rigidity dependence of the long period variations of galactic cosmic ray intensity: a relation with the interplanetary magnetic field turbulence for 1968–2002, *Solar Physics*, 289, 11, 4297-4308, 2014
51. **Siluszyk, M.**, Iskra, K, Alania M.V., On the relation of the interplanetary magnetic field Turbulence structure and long period variations of the Galactic cosmic ray intensity, 33rd International Cosmic Ray Conference, The Astroparticle Physics Conference, Rio de Janeiro, 309, 2013
52. Iskra, K, **Siluszyk, M.**, The features of the rigidity spectrum of the long-period variations of the galactic cosmic ray intensity in descending and ascending epoch of solar activity (2003-2012) 33rd International Cosmic Ray Conference, The Astroparticle Physics Conference, Rio de Janeiro, 0584, 2013
53. **Siluszyk, M.**, Iskra, K., Interplanetary magnetic field turbulence vs long period variations of the galactic cosmic ray intensity, *Proceedings of 7th CASTR*, Siedlce, Poland, 2013
54. Iskra, K., **Siluszyk, M.**, On the rigidity spectrum of the long-period variations of the galactic cosmic ray intensity in (2003-2012), *Proceedings of 7th CASTR*, Siedlce, Poland, 2013
55. **Siluszyk, M.**, Wawrzynczak, A., Alania, M.V., A model of the long period galactic cosmic ray variations, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Volume 73, Issue 13, pp. 1923-1929, 2011
56. **Siluszyk, M.**, Mathematical model of the galactic cosmic rays propagation in the Heliosphere, *Proceedings of 6th CASTR*, Siedlce, Poland, 2011
57. Iskra, K., **Siluszyk, M.**, Alania, M.V., On relationships of the turbulence of the interplanetary magnetic field and Long period cosmic ray modulation, *Proceedings of 32nd International Cosmic Ray Conference*, No 1075, Beijing, China, 2011
58. Alania, M.V. Iskra, K., **Siluszyk, M.**, On relation of the long period galactic cosmic rays intensity variations with the interplanetary magnetic field turbulence, *Adv. Space Res.*, Volume 45, Issue 10, 1203-1210, 2010
59. Iskra, K., **Siluszyk M.**, On the rigidity spectrum of the long-period variations of the galactic cosmic ray intensity: comparison of the theoretical and experimental results, *Proceedings of 31st ICRC*, SH., 1447, Lodz, Poland, 2009
60. **Siluszyk, M.**, Wawrzynczak, A., Alania, M.V., Modeling of the galactic cosmic ray long-period variations for the time dependent interplanetary magnetic field turbulence, *Proceedings of 31st ICRC*, SH., 1377, Lodz, Poland, 2009
61. Alania, M.V., Iskra, K., **Siluszyk, M.**, On relationship of the temporal changes of the rigidity spectrum of the galactic cosmic rays intensity variations and parameters of the interplanetary magnetic field turbulence, *Proceedings of 31st ICRC*, SH., 1376, Lodz, Poland, 2009

62. Gil, A., Iskra, K., Modzelewska, R., **Siluszyk, M.**, Wawrzynczak, A., Alania, M.V., On air showers of Cosmic Rays, Proceedings of 5th CASTR, Siedlce, Poland, 203–208, 2009
63. **Siluszyk, M.**, Two dimensional model of the long period Variations of the Galactic Cosmic Ray Intensity / Geophysical Research Abstracts, vol. 11, EGU2009-11451, 2009
64. **Siluszyk, M.**, Wawrzynczak, A., Alania, M.V., Two-dimensional Time-dependent Mathematical Model of Galactic Cosmic Ray Long Period Variations, Proceedings of 5th CASTR, Siedlce, Poland, 226–231, 2009
65. Alania M.V., Iskra, K., **Siluszyk, M.**, On the relationship of the temporal changes of the rigidity spectrum of the galactic cosmic ray intensity variations and power spectrum density of the interplanetary magnetic field turbulence, 21st ECRS, SH3.31, Koszyce, Slowacja, 2008
66. Alania, M.V., Iskra, K., **Siluszyk M.**, New index of long-term variations of galactic cosmic ray intensity Adv. Space Res., 41, 2, 267-274, 2008.
67. Alania, M.V., Iskra K., **Siluszyk M.**, On the New Index of the Long-Period Modulation of the Galactic Cosmic Rays Intensity, Acta Phys. Polonica B, vol.39, No 11, 2961-2971, 2008
68. **Siluszyk, M.**, Modeling of the 11-Year and 22-Year Variations of the Galactic Cosmic Ray Intensity”, Proceedings of 4th CASTR, Siedlce, Poland, 302–307, 2007
69. Iskra, K., Modzelewska, R., **Siluszyk, M.**, Alania, M.V., Some features of long-term variations of galactic cosmic ray intensity and anisotropy, Kinematika i Fizika Nebesnih Tel., T. 22, N. 6, c. 402-412, 2006
70. Alania, M.V., Iskra, K., **Siluszyk, M.**, New Index for Characterization of the Long-Period Modulation of the Galactic Cosmic Rays Intensity, Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 174, No. 2, 2006
71. Alania, M. V. Iskra, K. **Siluszyk, M.**, New index of the galactic cosmic ray intensity variations 20th European Cosmic Ray Symposium, Lisbon, Portugal, September 5th-8th 2006
72. **Siluszyk, M.**, Iskra, K., Modzelewska, R., Alania M.V., Features of the 11-year variation of galactic cosmic rays in different periods of solar magnetic cycles, Advances in Space Research, vol. 35, No.4, 677–681, 2005
73. Alania, M.V., Gil, A., Iskra, K., Modzelewska, R., **Siluszyk, M.**, Theoretical and Experimental studies of the 11-year and 27-day variations of the Galactic Cosmic Rays Intensity and Anisotropy, International Journal of Modern Physics A, vol. 20, No. 29, 6666–6668, 2005
74. Alania, M.V., Iskra, K., Modzelewska, R., **Siluszyk, M.**, The Galactic Cosmic Ray Intensity and Anisotropy Variations for Different Ascending and Descending Epochs of Solar Activity, 29th International Cosmic Ray Conference, Pune, India, 2, 219-222, 2005
75. Iskra, K., Alania, M. V., Gil, A., Modzelewska, R., **Siluszyk, M.**, On The Roles Of The Stochastic And Regular Heliospheric Magnetic Fields In Different Classes Of Galactic Cosmic Rays Variations, Acta Phys. Polonica B, 35, 4, 1565–1580, 2004
76. Alania, M.V., Iskra, K., **Siluszyk, M.**, Experimental and theoretical investigations of the 11-year variation of galactic cosmic rays, Advances in Space Research. vol. 32, No. 4, 651–656, 2003
77. Alania, M. V., Gil, A., Gushchina, R. T., Iskra, K., **Siluszyk, M.**, Peculiarities of galactic cosmic ray propagation in connection with the heliolatitudinal distribution of the Sun's coronal activity, Izviestia RAN ser. fiz., 67, 4, 506 – 508, 2003
78. Gushchina, R.T., Alania, M.V., Gil, A., Iskra, K., **Siluszyk, M.**, Real Distribution Of The Coronal Green Line Intensity And Modelling Study Of Galactic Cosmic Ray Propagation, Proc. 28TH ICRC, 7, 3875–3879, Tokyo, 2003

79. Alania, M.V., Iskra, K., Modzelewska, R., **Siluszyk, M.**, On the relationship of the energy spectrum indexes of the 11-year variation of galactic cosmic rays and the interplanetary magnetic field strength fluctuations, Proc. 28th ICRC, 7, 3881–3886, Japonia, 2003
80. Alania, M.V., Gil, A., Gushchina, R. T., **Siluszyk, M.**, Modelling Study of The Galactic Cosmic Ray Modulation In The Relation With The Real Distribution of The Coronal Green Line Intensity, 18TH ECRS, SH31P, Moscow, 2002
81. **Siluszyk, M.**, Alania, M.V. Solution of Parker’s Transport Equation of Cosmic Rays With Renewing Internal Boundary Condition, Symposium Program and Abstracts 18TH ECRS, SH34P, Moscow, 2002
82. Alania, M. V., Gil, A., **Siluszyk, M.**, Gushchina, R. T. Real distribution of Solar Activity and Modulation of Galactic Cosmic Rays , EGS XXVII General Assembly, Nice, 21-26 April 2002, abstract 6594, 2002, Bibcode: [2002EGSGA..27.6594A](#)
83. Alania, M.V., Aslamazashvili, R.G., Bochorishvili, T.B., Iskra, K., **Siluszyk, M.**, The role of drift on the diurnal anisotropy and on temporal changes in the energy spectra of the 11-year variation for galactic cosmic rays, Advances in Space Research. vol. 27, No. 3, 613-618, 2001
84. Alania, M.V., Bochorishvili, T.B., Iskra, K., **Siluszyk, M.**, O rieszenii modielnych zadacz anizotropnoj dyfuzji kosmiczieskich łucziej, Izvestia RAN ser. fiz., 65, Nr 3, 367- 369, 2001.
85. Iskra, K., **Siluszyk, M.**, Alania, M.V., Energy Spectra Of The 11-Year Variation Of Galactic Cosmic Rays For Different Solar Magnetic Cycles, Proceedings of 27th ICRC, Hamburg, Niemcy, 4277-4280, 2001.
86. **Siluszyk, M.**, Alania, M.V., On The Internal Boundary Condition’s Problem For The Parker’s Transport Equation Of Galactic Cosmic Rays, Proceedings of 27th ICRC, Hamburg, Niemcy, 3722-3724, 2001
87. **Siluszyk, M.**, On Internal Boundary Condition for Parker’s Transport Equation in the Case of 3-Dimensional Interplanetary Magnetic Field, The 3rd International Workshop on „MATHEMATICA” System In Teaching and Research, 181-187, Siedlce, Polska, 2001
88. **Siluszyk, M.**, On the problem of the internal boundary condition in the modelling of galactic cosmic rays propagation, EGS Nicea, 2001.
89. **Siluszyk, M.**, On internal boundary condition for transport equation of cosmic rays”, The 2nd International Workshop on „MATHEMATICA” System In Teaching and Research, 212-216, Siedlce, Polska, 2000.
90. Alania, M.V., Bochorishvili, T.B., Gil, A., Iskra, K., **Siluszyk, M.**, On modeling of galactic cosmic ray modulation using the „Stephen Wolfram–Mathematica System”, Programme and Abstracts 17TH ECRS, SH 3.6, Łódź, 2000

Orcid: 0000-0001-6384-2086

Index **Hirscha** (stan na 14.12.2021):

Google Scholar: H=11

Mendeley: H=9

Scopus: H=9

Web of Science: H=9

Marek Siluszyk

.....
(podpis wnioskodawcy)