

ТУМАЧЕЊЕ СВЕТЛОСНИХ ПОЈАВА И ОБЛАКА У ВИСОКИМ СЛОЈЕВИМА АТМОСФЕРЕ У НАУЧНОМ РАДУ ВЈАЧЕСЛАВА ЖАРДЕЦКОГ И ДАНАС У ЕРИ КОСМИЧКЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ

НЕДЕЉКО ТОДОРОВИЋ¹, НАТАЛИЈА ЈАНЦ² и
МИЛИВОЈ ГАВРИЛОВ³

¹Београд, e-mail: nedeljko52@yahoo.com

²Београд, e-mail: natalijanc@earthlink.net

³Вршац, e-mail: gavrilov.milivoj@gmail.com

Резиме: Од 16. и 17. века, од Галилеја (1564-1642) и Торичелија (1608-1647), конструкцијом метеоролошких инструмената и почетком редовних мерења добијени су значајни подаци о особинама атмосфере. Мерења су првенствено била на површини планете или у плитком слоју атмосфере. Све до 20. века и уласком у еру космичке технологије, за проучавање високих слојева није било техничких услова. Пре једног века истраживачи високих слојева атмосфере ослањали су се на визуелна запажања, лабораторијске експерименте и теоријске претпоставке. У Србији је један од првих истраживача светлосних појава и облака у високим слојевима атмосфере био Вјачеслав Жардеcki (1896-1961). Он је без инструменталиних података, користећи пре свега процене истраживача о структури атмосфере с краја 19. и почетка 20. века и резултате лабораторијских експеримената, дао тумачење светлосних појава и облака у високим слојевима атмосфере. Као професор астрофизике, логичким повезивањем чињеница и разумевањем процеса, указао је на смер будућих истраживања уз ослањање на активност Сунца, наелектрисане честице Сунчевог ветра, магнетно и електрично поље и знања о атомским, хемијским и оптичким процесима. Космичка технологија значајно је проширила сазнања о тим слојевима атмосфере и потврдила да је Жардеcki у својим размишљањима био на правом путу.

Кључне речи: Вјачеслав Жардеcki, атмосфера, поларна светлост, сребрнасти облаци

1. УВОД

Крајем 19. и почетком 20. века проучавање метеоролошких појава било је ограничено на релативно плитки приземни слој атмосфере где су вршена инструментална мерења метеоролошких параметара. За мерења у високим

слојевима није било техничких могућности. Истраживачи високих слојева атмосфере ослањали су се на визуелна запажања, лабораторијске експерименте и на до тада утврђене теоријске поставке. У Србији је један од првих истраживача светлосних појава и облака у високим слојевима атмосфере (стратосфера, јоносфера) био Вјачеслав Жардецки (1896-1962).



САДРЖАЈ:

	Страна
1. <i>Михаило Пејровић</i> : Веза између простих бројева и једне класе трансцендентата	1
2. <i>М. Миланковић</i> : Испитивања о термичкој конституцији планетских атмосфера	19
3. <i>Радивоје Кашанин</i> : О мултиформним интегралима Рикатијеве диференцијалне једначине	35
4. <i>Павле Миљанић</i> : О једном случају пулсивног тела у кретању, где израз енергије узима облик Лоренц-Ајнштајновог образаца	67
5. <i>Јован Карамаџа</i> : О израчунавању граница везаних за двоструке низове бројева	75
6. <i>Марин И. Каџалинић</i> : О исправљању наизменичне струје код електrolитичког прекидања	103
7. <i>Вјачеслав Жардецки</i> : О неким појавама у горњим слојевима атмосфере	133

Слика 1: Садржај радова у „Гласу Српске Краљевске Академије“ (СХХ, Београд, 1926).

Жардецки је рођен у Одеси у породици пољског порекла као Wenceslas S. Jardetzky. У раду ће бити уважено његово име и презиме које се одомаћило у Србији и под којим је објавио рад „О неким појавама у високим слојевима атмосфере“ (слика 1) у „Гласу Српске Краљевске Академије“ (СХХ, Београд, 1926). У Одеси је завршио Физичко-математички факултет и специјализацију из астрофизике. Због грађанског рата у Русији, 1920. године долази у Београд. Запослио се као асистент на Астрономској и Метеоролошкој опсерваторији (Друштво физичара Србије - Жардецки, 2019). Докторирао је 1923. године с темом „О кретању чврстог тела на кривој линији“ и држао предавања из теоријске физике. Универзитетску

каријеру наставља у Грацу од 1943. године, а од 1949. у Сједињеним Америчким Државама у Њујорку на Колумбија универзитету.

У овом раду аутори дају преглед тумачења светлосних појава и облака у високим слојевима атмосфере које је Жардецки објавио у раду 1926. године и ововремена тумачења тих појава настала у ери космичке технологије (сателити, оптика, рачунари).

2. АТМОСФЕРА ЗЕМЉЕ И СУНЧЕВА АКТИВНОСТ

Атмосферу Земље чини ваздух као мешавина разних гасова, пре свега азота и кисеоника (око 99%). Знатно мањи удео у ваздуху имају водена пара, угљен-диоксид, аргон, хелијум и други племенити гасови, озон и водоник, који чине преосталих 1% састава атмосфере. Атмосфера је на основу својих температурних особина подељена на више карактеристичних слојева. Тропосфера се простира од тла до висине од 6 km изнад полова до 18 km изнад екватора. Представља $\frac{3}{4}$ укупне масе атмосфере и у њој се одвија већина метеоролошких процеса. Ограничена је тропопаузом, слојем дебљине око 2 km. На неким местима, непосредно испод тропопаузе, постоје зоне врло јаких ветрова које подсећају на реку која меандрира и која се зове млазна струја. Стратосфера је слој атмосфере од тропопаузе до висине око 50 km где је ограничена стратопаузом, изнад које је до висине око 80 km мезосфера, а изнад које се налази термосфера.

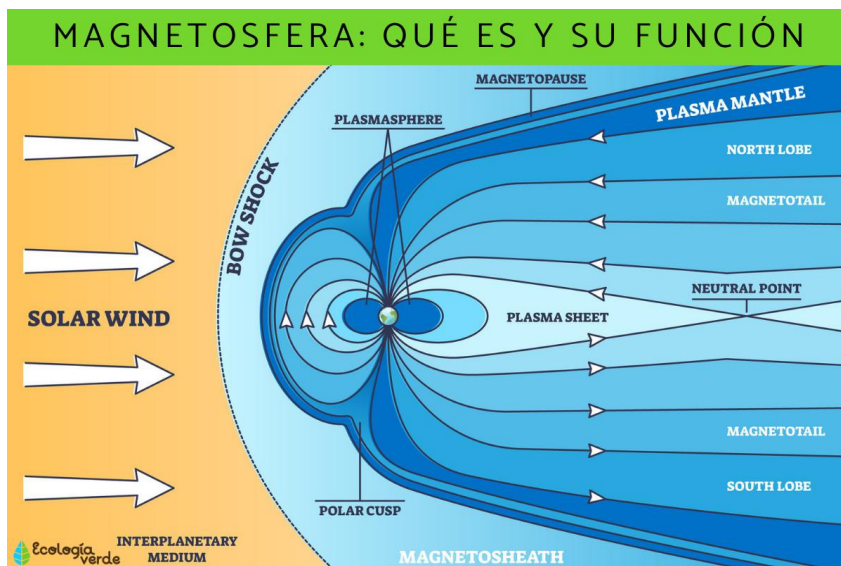
У атмосфери до тропопаузе и млазне струје температуре врло брзо опада са висином, док се изнад ње, приближно до висине око 30 km, врло мало мења (хладна стратосфера), а затим поново почиње да расте (топла стратосфера) и на висини од 50 km достиже 0 °C. На тој висини изнад поларних области има сезонски карактер, зими температура има вредности од -80 °C до -50 °C, а лети од -5 °C до 10 °C. У мезосфери температура опада и на висини мезопаузе има вредности око -90 °C. У термосфери температура значајно расте и на висини од 600 km достиже вредности преко 2000 °C. (Whitten and Poproff, 1970, Чадеж, 1973).

Температура ваздуха у атмосфери на висини је под директним утицајем Сунчевог зрачења, нематеријалног електромагнетног и материјалног честичног (корпускуларног). На тим висинама постоје разна фотохемијска дејства која утичу на температуру ваздуха. У стратосфери кисеоник апсорбује сразмено велике количине ултраљубичастог зрачења (UV) и на тај начин долази до деобе молекула кисеоника O₂ (дисоцијација) на два атома, а атом (O) се спаја са молекулским кисеоником и гради молекул озона (O₃). Под утицајем UV већих таласних дужина озон се поново декомпонује на молекулски и атомски облик. Тако се процесима композиције и декомпозиције кисеоника углавном троши UV зрачење чиме се спречава да оно у већим и штетним количинама доспева на површину Земље. Највећа концентарција озона налази се на висинама од 20 km до 30 km.

На висинама од 60 km до 85 km под утицајем UV и X зрачења постоји дисоцијација молекула кисеоника и азота и на тај начин се стварају њихови јони. На висинама изнад 140 km кисеоник и азот се налазе у атомском облику. На тим висинама гасови су у стању плазме, коју сачињавају електрони, наелектрисани атоми и молекули. Због таквог састава, атмосфера се изнад 60 km назива и јоносфера.

2.1 Магнетно поље планете Земље

Земља има своје магнетно поље, тако да је планета велики магнет. Претпоставља се да се због протока електричне струје (телурске струје) кроз унутрашњост планете, пре свега кроз гвозедено језгро, по законима електромагнетизма, ствара њено магнетно поље. Земљино магнетно поље, магнетосфера, простира се до висине од око 80 000 km од површине (слика 2). Земљино магнетно поље има свој северни и јужни магнетни пол чије се позиције на површини планете разликују од позиција географских полова.

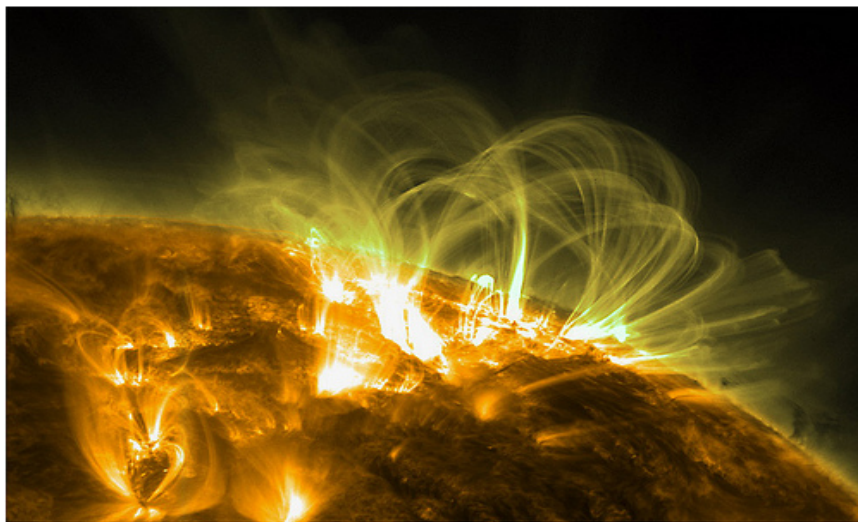


Слика 2: Сунчев ветар и магнетосфера (www.ecologiaverde.com).

Магнетосфера у великој мери штити Земљу од утицаја међупланетарног магнетног поља и наелектрисаних честица Сунчевог ветра чији је извор на Сунцу. Магнетосферу имају и неке друге планете као што су Меркур, Јупитер, Сатурн, Уран и Нептун.

2.2 Сунчев ветар

Норвешки истраживач Кристијан Биркеланд (1867-1917) је 1916. године први предвидео постојање Сунчевог ветра. Фредерик Линдеман (1886-1957) је 1919. године претпоставио да са Сунца долазе протони и електрони. Тридесетих година 20. века научници су претпоставили да Сунчева корона има температуру од неколико милиона степени. Британски математичар Сидни Чапман (1888-1970) је 1950-их израчунао својства гаса на таквој температури и закључио да се топлота кроз корону мора протезати у простору још даље од Земље. Немачки научник Лудвиг Бирман (1907-1986) се такође педесетих заинтересовао за чињеницу да комета увек има реп супротно од Сунца. Бирман је закључио да Сунце емитује сталну струју честица, која потискује кометин реп. Еуген Паркер (1927-2022) је 1958. године тај феномен назвао „Сунчев ветар“. Пошто гравитација опада са удаљеношћу од Сунца, спољна коронарна атмосфера надзвучном брзином одлази у међузвездани простор. Паркерову хипотезу изнесу у научном раду рецензенти су одбили, али је после 25 година рад ипак објављен. Совјетски сателит Луна 1 је јануара 1959. године измерио јачину Сунчевог ветра. Мерење три године касније поновила је NASA (Nacional Aeronautics and Space Administration) користећи свемирску летилицу Маринер 2. Касних 1990-их ултраљубичасти коронални спектрометар, који се налазио на SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) свемирској опсерваторији омогућио је да се види да је подручје убрзања Сунчевог ветра у поларним подручјима Сунца. Такође, нађено је да је убрзање много веће од онога које би се очекивало само од топлотног ефекта.



Слика 3: Активни региони на Сунцу, ерупција наелектрисаних честица и линије (силнице) магнетног поља (NASA - Nacional Aeronautics and Space Administration)).

Променљивост магнетног поља Земље је показатељ утицаја Сунчеве активности на терестријални систем. Када се на Сунцу активни региони (слика 3) и короналне рупе нађу у геоефективној позицији, наелектрисане честице се после ерупције крећу дуж линија интерпланетарног магнетног поља и долазе до магнетосфере Земље и изазивају геомагнетни поремећај. Највећи део Сунчевих наелектрисаних честица улази у атмосферу у поларним областима, око северног и јужног повратника (од 60° до 70° географске ширине), на ноћној страни магнетосфере. Честице избачене из короне (CMEs) производе јаке магнетне олује кратког трајања, а честице Сунчевог ветра из активних региона умерене олује продуженог трајања. Сунчев ветар има велику променљивост у простору и времену.

2.3 Сунчева активност и метеоролошки процеси на Земљи

Развојем и применом космичке технологије (сателити, оптика, рачунари) добијено је мноштво изузетно вредних инструменталних података о активности Сунца, пре свега о активним регионима, короналним рупама, Сунчевој магнетној активности, интерпланетарном магнетном пољу, саставу и особинама Сунчевог ветра и њиховом утицају на Земљино магнетно и електрично поље. То је допринело проширивању сазнања и њиховом повезивању са механизмом метеоролошких процеса у атмосфери Земље.

Тропски циклони осмотрени у Карипском архипелагу и Мексичком заливу се појачавају у периоду јаке соларне активности када је број Сунчевих пега повећан (Elsner et al, 2008). Постоји значајна корелација између приземне температуре ваздуха у региону Северног Атлантика која зависи од брзине Сунчевог ветра и интерпланетарног магнетног поља (Zhou et al, 2016). Тропска депресија у Атлантику јавља се 2 до 4 дана, а фаза тропског циклона (hurricane) у просеку 5,5 дана после осмотреног појачања Сунчевог ветра осмотреног помоћу ACE (Advanced Cosmoposition Explorer) сателита (Todorović and Vujović, 2014). Протони Сунчевог ветра енергије веће од 90 MeV појачавају и регенеришу циклоне близу југоисточне обале Гренланда на арктичком фронту, а за време Форбушовог слабљења Сунчевог ветра и јачања галактичког космичког зрачења јачају антициклонални процеси на поларном фронту (Veretenenko, 2017). Приближно 7 дана после скока Индекса геомагнетне активности (GAI – Geomagnetic Activity Index) забележеног на Tromsø Geophysical Observatory, преко Београда пролази хладни атмосферски фронт (Todorović and Vujović, 2022).

3. СВЕТЛОСНЕ ПОЈАВЕ У ВИСОКИМ СЛОЈЕВИМА АТМОСФЕРЕ

У првом пасусу свог рада „О неким појавама у горњим слојевима атмосфере“ из 1926. године, Вјачеслав Жардецки каже: „Низ појава, које се дешавају у горњим слојевима атмосфере, поред тога што служе за одређивање висине атмосфере и њеног састава, од великог су интереса, јер дају везу неких процеса на Сунцу и оних на Земљи. То су поларна светлост и

тако звани сребрнасти облаци. Ми ћемо њима прикључити сутон и циркусне облаци (Ci, Ci str), последњи су на много мањим висинама него прве три појаве“ (изворни текст). У наставку рада Жардецки даје приказ развоја сазнања о тим појавама и дефинише свој научни став о њима. У овом раду, са временске раздаљине од једног века, даје се паралелни приказ ондашњих и садашњих тумачења појава у високим слојевима атмосфере.

3.1 Поларна светлост

Жардецки каже да је до његовог доба дато преко 80 теорија за објашњење поларне светлости и да је последњих година објављен низ радова у којима је проучаван њен спектар, нарочито карактеристична жуто-зелена линија (таласна дужина 577,7 nm).

Ларс Вегард (1880-1963) (Vegard, 1924, у Жардецки, 1926) је на основу експеримената са чврстим азотом при температурама испод $-237,6^{\circ}\text{C}$, који је био обасјан катодним цевима, извео закључак да поларна светлост представља фосфоресценцију кристала азота који се налази у атмосфери на тим висинама. Али, он је добио и зелену линију у спектру која се не поклапа с том температуром.

Дон Мек Ленан (1867-1935) (Mac Lennan, 1925, у Жардецки, 1926) је експериментом добио потпуни спектар поларне светлости и закључио да карактеристична линија настаје услед присуства кисеоника. Нити кисеоник нити други гасови сами по себи не дају ту светлост. Дотад се сматрало да на тим висинама нема кисеоника, а овај експеримент је потврдио постојање кисеоника у високим слојевима атмосфере и да улогу катодних зрака има Сунчево зрачење. Жардецки констатује да је „статистика одавно утврдила паралелност поларне светлости и броја Сунчевих пега“. Истраживачи тог времена, као и Жардецки, били су на добром путу разумевања и објашњења поларне светлости.

Данас, један век после проучавања од стране Жардецког, поларна светлост (аугора polaris, borealis, australis) је добро објашњена. Она представља светлење ноћног неба углавном у поларним областима. При великој активности Сунца и јаким ерупцијама наелектрисаних честица, поларна светлост је видљива и на мањим географским ширинама, понекад, врло ретко, на пример и у области Средоземља или у Калифорнији.

Поларну светлост изазивају наелектрисане честице, пре свега брзи електрони, који се налазе у саставу Сунчевог ветра и који имају енергију од 1 keV до 15 keV, то јест, убразни су напоном до 1000 V до 15 000 V. Електрони се сударају са атомима и молекулима ваздуха и предају им извесну енергију. Због тога електрони који се налазе у електронском омотачу атома краткотрајно прелазе на виши енергетски ниво. Када се враћају у основно стање, електрони (и атом као целина) ослобођају енергију у виду светлости. Кад је побуђен атом кисеоника, његови електрони се за непуну секунду враћају у основно стање и тада емитује зелену боју, а они

заостали, који се враћају у року од два минута ослобађају црвенкасту светлост. Иначе, када је густина обичних гасова већа, емитована енергије од стране електрона из омотача изгуби се узајамним сударањем атома. На висинама од око 80 km концентрација атома кисеоника ја мала, судара има



Слика 4: Поларна светлост. <https://nationalgeographic.rs/>.
Извор: Foto: Shutterstock.



Слика 5: Задивљујућа зелена аурора изнад Земље. У првом плану Међународна свемирска станица. (Image credit: NASA/Josh Cassada).

мало, али постоји довољно времена да побуђени атоми емитују зелену светлост (557,7 nm), а они на вишим висинама браонкастоцрвену боју (630 nm). Јонизовани атоми азота емитују светлоплаву, а нејонизовани црвену боју.

Поларна светлост може да се опази и у ултраљубичастом делу спектра, поготово осматрањем из свемира. Свемирска сонда „Полар“ је регистровала аурору чак и у подручју Х-зрака. Поларна светлост се јавља као „дифузно светлење“, као „завеса“ или „лукови“, која се премешта у смеру од истока ка западу. Светлост се често мења („активна аурора“). Свака завеса се састоји од бројних паралелних трака (зракова) које су усмерене у смеру пружања линија магнетног поља. Иначе, познато је да се наелектрисане честице премештају дуж линија магнетног поља, што указује да интерпланетарно и Земљино магнетно поље има утицаја на појаву поларне светлости (слика 4).

Поларна светлост постоји и на Јупитеру и Сатурну чија су магнетна поља много снажнија од Земљиног, а последица је дејства Сунчевог ветра као и на Земљи. Такође, и Јупитеров сателит Ио има изражене ауре. Недавно је поларна светлост откривена и на Марсу, раније се веровало како је то немогуће због недостатка јаког магнетског поља.

3.2 Протонска аурора

Око планете Земље постоје прстенови електричне струје који су невидљиви голим оком, за разлику од видљивих Сатурнових прстенова састављених од леда. При јаким ерупцијама на Сунцу и јаким магнетним олујама, наелектрисане честице из прстенова падају и изазивају секундарну

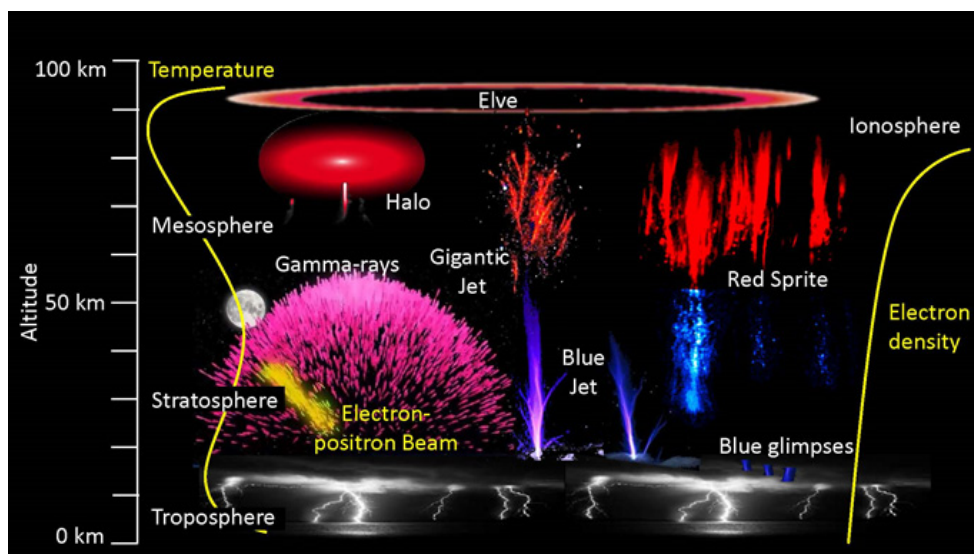


Слика 6: Aurora borealis, снимак са Међнародне свемирске станице, названа изолована протонска аурора. (Image credit: NASA/ Scott Kelly).

кишу електрона који ударају у атмосферу и изазивају аурору. Сателити у орбити Земље регистровали су ниспоно кретање протона у прстеновима. Протонске ауре обично се јављају у сумрак, пулсирају и праћене су црвеним луковима светлости који излазе из прстена електричне струје (слика 6).

3.3 Плави млазеви, вилењаци и духови

Последњих неколико деценија космичка технологија, поред тога што је допринела потпунијем сагледавању и потврди теоријског објашњења поларне светлости, омогућила је нова сазнања, боље речено откриће до тада непознатих светлосних појава у стратосфери и јоносфери (слика 7).



Слика 7: Плави млазеви, вилењаци и црвени духови (сликовни приказ - <https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2021/01/25/nasa>).

Заједничка особина свих облика ових светлосних појава (Blue Jet, Elves, Red Sprite) је да настају ударом наелектрисаних честица Сунчевог ветра у горње слојеве (врхове) грмљавинског облака (Cumulonimbus). Уствари, механизам је сличан као и код настанка поларне светлости. Приспеле честице избијају електроне из атома при чему је јављају бели бљескови, а позитивно јонизовани атоми под дејством електричног поља крећу се навише од врха облака. Због повећања концентрације електрона на већим висинама настала светлост (муња) јача услед све већег броја судара протона и електрона. Бљескови светлости овог типа могу да буду разних боја у зависности који је хемијски елемент јонизован. Кисеоних ствара плаве муње, азот црвене.

Плави млазеви (Blue Jet) имају велику брзину (100 km/s), настају на висинама од 40 km до 50 km. Трају око $\frac{1}{4}$ s и могу се видети људским оком. Имају боје плавичастих нијанси (слика 8).

Вилењаци (ELVE - Emissions of Light and Very Low Frequency Perturbations due to Electromagnetic Pulse Sources) представљају велике ореоле на висинама од око 100 km изнад грмљавинских облака (Cumulonimbus - Cb). Хоризонталне димензије су им око 400 km. Трају неколико ms. Представљају емисију светлости услед поремећаја после удара нискофреквентног електромагнетног импулса (слика 9).

Духови или црвени духови (Red Sprite) имају облик атомске печурке. Трају веома кратко и региструју их само брзе камере. Обично су црвенкасто-наранџасте боје, имају различите облике (дух, траке, рибе...). Уочавају се на висинама од 50 km до 90 km. Типична хоризонтална димензија им је око 50 km. Имају хало на горњој граници. Трају 3-10 μ s, једва видљиви за људско око (слика 10).



Слика 8: Излазак плавог млаза (Blue Jet) из грмљавинског облака навише у стратосферу снимљен са Међународне свемирске станице 2019.
(DTU SPACE, DANIEL SCHMELLING/MOUNT VISUAL,
<https://www.sciencenews.org>).



Слика 9: Вилењак изнад јаке грмљавинске олује у близини Анконе, Италија. Црвени прстен означава место где је електромагнетни поремећај (ЕРМ) ударио у Земљину јоносферу (photo:Valter Binotto, 27.03.2023. <https://www.spaceweather.com>).



Слика 10: Црвени духови у јоносфери снимљени августа 2015. године са Међународне свемирске станице. Види се бели блесак и скуп црвених форми изнад врха грмљавинске олује изнад Мексика. (<https://earthsky.org/space/>).

3.4 STEVE (Mysterious aurora-like phenomenon). Узрок настанка још није разјашњен.

3.5 Светлосне појаве у тропосфери

Планета Земља има своје магнетно и електрично поље. У атмосфери увек постоји нека одређена количина наелектрисања коју чине јонизовани хемијски елементи. Јони се непрестано стварају и ишчезавају. Јонизацију атмосфере узрокује ултраљубичасто и X-зрачење као део спектра Сунчевог нематеријалног зрачења и наелектрисане елементарне честице, протони и електрони, које долазе у атмосферу Земље са Сунца у виду Сунчевог ветра и из дубине космоса као космичко зрачење. Сваки јон има око себе своје сопствено електрично поље, а електрично поље атмосфере је резултанта свих таквих елементарних поља.

Електрични потенцијал атмосфере представља електрични напон у односу на Земљино тло и повећава се с висином. Нарочито се брзо повећава у доњем километар дебелом слоју. Та промена потенцијала са висином показује јачину електричног поља која при тлу износи 130 V/m^{-1} , а на висини од 12 km svega 4 V/m^{-1} .



Слика 11: Муња из грмљависног облака (Cumulonimbus).

У атмосфери постоје две врсте електричних струја: струје проводљивости (кондукционе) и конвективне. Прве су изазване кретањем постојећих јона у ваздуху, обично су слабе, али када се успостави критична

потенцијална разлика између две области атмосфере јавља се пражњење у виду грома. Друге представљају кретање млаза наелектрисаних честица велике конетичке енергије које улазе у атмосферу у виду Сунчевог ветра и које се крећу дуж линија резултујећег интерпланетарног и геомагнетног поља. Нису последица разлике електричног потенцијала између облака и тла. Протонске муње се одликују јаком електричном струјом и релативно ниским напонем, а електронске слабом електричном струјом и високим напонем. Механизам настанка је сличан настанку поларне светлости и других светлосних појава у јоносфери, наелектрисане честице Сунчевог ветра избијају електроне из атома хемијских елемената који се налазе у саставу ваздуха, а електрони затим брзо ослобађају енергију у виду светлости (севање), (слика 11).

4. ОБЛАЦИ У ВИСОКИМ СЛОЈЕВИМА АТМОСФЕРЕ

4.1 Сребрнасти (седефастни) облаци

Жардецки у свом раду даје кратки приказ развоја сазнања и тумачења сребрнатих облака од 1885 до 1920. године (O. Jese, A. Wegener, A. De Quervain, A. Ball). Запажа да постоје неслагања у одређивању висине и облика облака. Због тога што личе на цирусне облаке, неки их погрешно називају Ultra-Cirren (1916). Понекад личе на праменове поларне светлости.

Према дотадашњим истраживањима сматрално се да се сребрнасти облаци налазе на висини од око 80 км, трају 15-20 минута, јављају се у сутон и око поноћи на географској ширини од 45° до 60° и крећу се од истока ка западу брзином од око 100 km/h. Јављају се у размацима од 8 до 14 дана. При њиховом појављивању посматране су промене Земљиног магнетизма. Разматрана је претпоставка да су сребрнасти облаци последица ерупције вулкана у чијим гасовима се налази водоник па чак и водена пара. Због тога је било мишљења (F.A. Lindemann, G.M. Dobson) да се водена пара на температурама испод 0° на већим висинама кондензује.

Жардецки разматра различиту аргументацију и сматра да су облаци највероватније настали из водене паре која је прелазила у лед, али да је потребно утврдити одакле водена пара у тако високим слојевима атмосфере. Жардецки разматра особине високих слојева атмосфере помоћу доступних оскудних параметара. На висинама од 5 km до 100 km има кисеоника и водоника (праскави гас), а према прорачуну (Wegener-Arrhenius) на висини од око 70 km налазе се у релативним односима (2:1) при којима се једине.

Жардецки разматра узроке који изазивају сједињавање водоника и кисеоника и стварање водене паре и течне воде. Истраживање Л. Писаржевског (1924) несумњиво потврђује да при катализи једињење настаје уз учешће електрона.

На основу сагледавања резултата претходних истраживања, Жардецки предлаже своје тумачење појаве сребрнатих облака које формулише као:

„Ројеви електрона које шаље Сунце, ступајући у атмосферу и долазећи до слоја где се налази праскави гас, изазивају образовање водене паре на својој путањи. Ова пара кондензује се и језгрима кондензације могу служити јони, тим пре што је ваздух већ јонизован дејством ултраљубичастих зракова. Наравно, при температури (-90, -100 °C) водена пара прелази у чврсто стање и дакле образује се сублимирани лед. Скупови ових кристала и јесу сребрнасти облаци. Њихов сјај долази услед јаке способности одбијања светлости, што припада сићушним кристалима сиблумираног леда. Овакав сјај има „дијамантска прашина“, која има исту конституију, а коју се често посматра поларним истраживачима“ (изворни текст).

У наставку Жардецки каже да његово објашњење није у супротности ни са једном од познатих чињеница и да сребрнасти облаци имају „исти периодицитет“ као и друге појаве (поларна светлост, образовање цируса). Сребрнасти облаци били су примећени баш у време највеће Сунчеве активности (E. W. Maunder, 1925). Појава сребрнатих облака у периоду 1885-1891 (O. Jesse) опадала је са опадајућим бројем Сунчевих пега. За време веће активности Сунца рој електрона (Сунчев ветар) је моћнији те може дубље дејствовати у атмосфери, а и на тим висинама има праскавог гаса.

Развој технологије, нарочито космичке, омогућио је дотад невероватне снимке облака у тропосфери и у високим слојевима атмосфере (стратосфера и јоносфера) (слика 12).



Слика12: Сребрнасти облаци (Type II Wikicommons Source:NASA)
(<https://www.skybrary.aero/articles/polar-stratospheric-cloud-psc>).

Сребрнасти (седефасти) облаци (Polar Stratospheric Clouds - PSC) се формирају на температурама ваздуха од око -85°C , иначе нижим од просечних температура у стратосфери, а састоје се од честица леда $\sim 10\text{ }\mu\text{m}$ у пречнику. Облаци морају да буду састављени од кристала сличне величине да би дифракцијом и интерференцијом произвели карактеристике светле иридесцентне боје. Што се тиче висине, PSC се формирају на веома великим висинама, између 15 km и 25 km. Само на веома ниским температурама постоји довољно кондензације да настане облаци у изузетно сувом ваздуху на овим висинама. Понекад зими близу северног или јужног пола, температуре у доњој стратосфери постају довољно ниске да се PSC формирају.

Једна од хипотеза тврди да јаки ветрови у тропосфери могу да изазову планинске таласе када прелазе преко орографске препреке. Ови таласи могу да се шире навише у стратосферу где подизање и хлађење могу да стварају облаке. PSC су чешћи у близини Јужног пола, који је типично хладнији, али недавно су PSC примећени и у близини Северног пола.

PSC су класификовани у типове I и II према свом хемијском саставу, који се може мерити помоћу технологије LiDAR-a (Light Detection and Ranging). Ова технологија омогућава детекцију светлости и одређивање висине и температуре околине облака. Други назив за лидар је оптички радар или ласерски радар. Лидар ради на сличан начин као радар и сонар с тим што користи светлосне таласе ласера уместо радио-таласа или звучних таласа (<https://geogis.rs/lidar-tehnologija/>).

Облаци типа I садрже воду, азотну киселину и/или сумпорну киселину и извор су оштећења поларног озона. Настају када температура падне на -78°C или ниже. Облаци типа Ia се састоје од великих, асферичних честица, које се састоје од трихидрата азотне киселине (NAT). Облаци типа Ib садрже мале, сферичне честице (недеполаризујуће) течног прехлађеног тернарног раствора (STS) сумпорне киселине, азотне киселине и воде. Облаци типа Ic се састоје од метастабилне азотне киселине богате водом у чврстој фази.

Облаци типа II састоје се само од леда и веома ретко се примећују на Арктику. За њихово формирање потребна је температура од -83°C или нижа. Само облаци типа II су нужно седефасти, док облаци типа I могу бити шарени под одређеним условима, баш као и сваки други облаци (слика 12).

4.2 Светлећи ноћни облаци

Од краја 1970-их лети се радарима откривају облаци на висинама од 80 km до 90 km (јоносфера-мезосфера). Понекад су видљиви очима. Регистровани су из космичких летилица и на висинама од 110 km (зелени кисеоник) и 250 km (црвени кисеоник). Светлећи ноћни облаци (noctilucent clouds – NLC) састављени су од кристала леда у којима су нађени позитивно наелектрисани метали (гвожђе Fe^+ и никл Ni^+) (слика 13).

Метали калијум (K^+), гвожђе (Fe^+), олово (Pb^+), бакар (Cu^+), никл (Ni^+) и натријум (Na^+), који носе слободна електрична оптерећења, пронађени су и цирусима (Cziczko at all, 2013).

У атмосфери Земље не постоји природна сила која може да разбије структуру атома. Због тога може да се закључи, да метали који носе слободно електрично оптерећење (јонизовани), нађени у светлећим ноћним облацима и цирусима, нису земаљског порекла.



Слика 13: Светлећи ноћни облаци (observed by Kairo Kiitsak of Simuna, Estonia, on July 26, 2018).

4.3 Загонетни облаци у мезосфери

У високим слојевима атмосфере повремено са јављају облаци чији настанак још није до краја разјашњен (University of Colorado's Laboratory for Atmospheric and Space Physics (<http://www.spaceweather.com/>)). Претпоставља се да се молекули воде хватају на честицама метеорског дима које су прикупљане у облацима са леденим кристалима. Ови загонетни облаци формирају се сваке године у време када се лети праменови водене паре повећавају на врху атмосфере Земље где су погођени Сунчевом светлошћу. Молекули водене паре хватају се на честице метеорског дима (нуклеуси сублимације) формирајући кристале леда на висини од око 83 km. Када Сунчеви зраци ударају ове кристале, они светле електрично-плавом бојом. Сматра се да би активност планетарних таласа могла да пренесе хладан ваздух и висок ниво водене паре. Ова хипотеза има слабости:

истраживачи нису сигурни одакле водена пара на тако великој висини и с друге стране, концентрација метеорског дима је изузетно мала.

5. ЗАКЉУЧАК

Вјачеслав Жардецки је без инструменталиних података, користећи пре свега процене истраживача о структури атмосфере с краја 19. и почетка 20. века и резултате лабораторијских експеримената, дао тумачење светлосних појава и облака у високим слојевима атмосфере.

Као професор астрофизике, логичким повезивањем чињеница и разумевањем процеса, одлучно је предложио смер будућих истраживања уз ослањање на активност Сунца, наелектрисане честице Сунчевог ветра, магнетно и електрично поље и знања о атомским, хемијским и оптичким процесима.

Развој нових метода у ери космичке технологије омогућио је огроман напредак у проучавању процеса у атмосфери. Тумачења о светлосним појавама и облацима значајно су детаљнија, али се задржала основна нит коју је пре једног века поставио Жардецки. У том смислу постоји много истраживачког изазова да се сазнања о процесима у високим слојевима атмосфере, пре свега о облацима, примене и на процесе у нижим слојевима, у тропосфери.

Литература

- Друштво физичара Србије - Вјачислав Жардецки, 2019.
- Чадеж М.: Метеорологија, БИГЗ, Београд, 1973.
- Жардецки В.: „О неким појавама у високим слојевима атмосфере“, „Гласу Српске краљевске академије“ CXX, Beograd, 1926.
- Cziczo D.J. at all (2013): Clarifying the Dominant Sources and Mechanisms of Cirrus Cloud Formation, DOI: 10.1126/science.1234145, 201
- Elsner, J.B., Jagger, T.H. (2008) United States and Caribbean tropical cyclone activity related to the solar cycle. *Geophysical Research Letters*, 35, L18705. <https://doi.org/10.1029/2008GL034431>
- Todorović N, Vujović D. (2014): Effect of solar activity on the repetitiveness of some meteorological phenomena, *Advances in Space Research*, (2014), DOI: 10.1016/j.asr.2014.08.007, Available online 21 August 2014, IF₂₀₁₃=1.238 (M₂₃)
- Todorović, N., Vujović, D. (2022). Links between geomagnetic activity and atmospheric cold fronts passage over the Belgrade region, Serbia. *Meteorological Applications*, 29(6), e2107. <https://doi.org/10.1002/met.2107>
- Veretenenko, S.V. (2017) Comparative Analysis of Short-Term Effects of Solar and Galactic Cosmic Rays on the Evolution of Baric Systems at Middle Latitudes. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 2017, 81(2), 260–263. <https://doi.org/10.3103/S1062873817020460>
- Whitten R. C., I. G. Poppoff: Fundamentals of Aeronomy, NASA, 1970. (на руском, Гидрометеиздат, 1977.)

Zhou, L., Tinsley, B., Chu, H., Xiao, Z. (2016) Correlations of global sea surface temperatures with the solar wind speed. *Journal of Atmospheric Solar-terrestrial Physics*, 149, 232-239. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2016.02.010>

www.ecologiaverde.com

<https://geogis.rs/lidar-tehnologija/>

<https://sr.wikipedia.org/sr-ec/>

<https://nationalgeographic.rs/>

<https://www.nasa.gov/>

<https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2021/01/25/nasa>).

<https://www.sciencenews.org>)

<https://www.spaceweather.com>

<https://earthsky.org/space/>

<https://www.skybrary.aero/articles/polar-stratospheric-cloud-psc>

<https://cloudatlas.wmo.int/en/nitric-acid-and-water-polar-stratospheric-clouds.html>).

INTERPRETATION OF LIGHT PHENOMENA AND CLOUDS IN THE HIGH LAYERS OF THE ATMOSPHERE IN THE SCIENTIFIC WORK OF WENCESLAS S. JARDETZKY AND TODAY IN THE ERA OF COSMIC TECHNOLOGY

Since the 17th century, with the work of Galileo and Torricelli, the construction of meteorological instruments and the beginnings of regular measurement procedures have provided significant data on the properties of the atmosphere. Until that point, measurements were primarily taken on the surface of the planet or in shallow regions of the atmosphere. It wasn't until the 20th century, with the advent of space technology that the technical conditions for the study of higher atmospheric layers was viable. Until then, researchers of the upper regions of the atmosphere relied on visual observations, laboratory experiments and theoretical assumptions.

In Serbia, one of the first researchers of light phenomena and clouds in upper atmospheric layers was Wenceslas S. Jardeztzy (1896-1961). Without instrumental data, Jardeztzy interpreted light phenomena and clouds in the upper layers of the atmosphere using estimates from researchers, sourced from the late 19th until the early 20th centuries, about the structure of the atmosphere, as well as results from supplementary laboratory experiments. As a professor of astrophysics, by logically linking the observed facts and understanding the occurring processes, he indicated that the direction of future research will rely on monitoring the activity of the Sun, the charged particles of solar winds, magnetic and electric fields, and expanding our knowledge of atomic, chemical and optical processes. Cosmic technology significantly expanded our knowledge about those previously mysterious layers of the atmosphere, and confirmed that Jardeztzy was on the right track in his thinking.

Key words: Wenceslas S. Jardeztzy, atmosphere, polar light, polar stratospheric clouds