прегледни рад
UDC 551.501:551.515.2

Недељко Тодоровић[1]
Републички хидрометеоролошки завод, Београд

РАЗВОЈ ТЕОРИЈА О НАСТАНКУ ЦИКЛОНА

Апстракт

Конструкцијом првих метеоролошких инструмената почела су редовна мерења која су омогућила откривање законитости процеса у атмосфери, а теоријски радови су допринели да метеорологија постане засебна научна дисциплина. На основу нових сазнања, научници су објављивали бројне различите теорије о настанку олуја (циклона) и дефинисали силе које учествују у покретању ваздуха. Касније, у 20. веку, у уџбеницима метеорологије су дата теоријска објашњења настанка циклона и тумачење вртложног кретања ваздуха која се могу сматрати општеприхваћеним. У раду се износи неколико општих запажања и недоумица која доводе у питање „општеприхваћено" тумачење настанка циклона а која би требало узети у обзир приликом тумачења настанка циклона. У космосу и Сунчевом систему делују две природне макроскопске силе, електромагнетна и гравитациона, те је логично да утичу и на процесе у атмосфери Земље. За потпуно сагледавање и тумачење процеса у атмосфери Земље требало би укључити већ утврђене законе као што су закони кретања, термодинамике, зрачења и хемије. Разматрање механизма настанка вртложних кретања у атмосфери Земље, као што су тропски циклони, циклони умерених ширина и торнада, не износи се детаљно, већ се указује на основне принципе. Атомске и субатомске наелектрисане честице, које чине Сунчев ветар, уласком у атмосферу Земље својом количином кретања врше динамички притисак и покрећу ваздух, а

[1] nedeljko52@yahoo.com

кружно кретање успоставља се иницијалном Лоренцовом силом. Силе као што су центрипетална (центрифугална) и Кориолисова сила су последичне силе (ефекти) које се јављају по успостављању кружног кретања.

Кључне речи: циклони, Сунчева активност, електромагнетна сила

1. Увод

Године 1592. Галилео Галилеј (Galileo Galilei)[2] је осмислио и направио уређај за мерење температуре ваздуха (термометар), а 1643. године Еванђелиста Торичели (Evangelista Torricelli)[3] уређај за мерење атмосферског притиска (барометар). У 17. и 18. веку су на многим местима отпочела редовна мерења и тиме су добијени значајни подаци о особинама атмосфере. Обрада инструменталних метеоролошких података је допринела да се у оквиру геофизике развије климатологија. Упоредо с тим, научници тог времена, физичари, астрономи, математичари и филозофи, откривали су основне физичке законитости процеса у атмосфери које постају темељ метеоролошке науке. У то време метеорологија није била самостална, издвојена наука, али су се већ тада објављивали научни теоријски радови метеоролошке природе. Даље проширивање знања из физике атмосфере довело је од утемељења метеорологије као засебне научне дисциплине. Због веома значајног научног доприноса, физичаре и математичаре Хермана Хелмхолца (Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz)[4], Вилхелма Бјеркнеса (Vilhelm Friman Koren

[2] Галилео Галилеј (Пиза, 15. фебруар 1564 — Фиренца, 8. јануар 1642) је био италијански астроном, физичар, математичар и филозоф, чија су истраживања поставила темеље модерне механике и физике. „Галилео Галилеј", Википедија, преузето 23. 2. 2025, https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Галилео_Галилеј.

[3] Еванђелиста Торичели (Фаенца, 15. октобар 1608 — Фиренца, 25. октобар 1647) је био италијански физичар и математичар, најпознатији по свом изуму барометра. „Еванђелиста Торичели", Википедија, преузето 23. 2. 2025, https://sr.wikipedia.org/sr-ec/ Еванђелиста_Торичели.

[4] Херман Лудвиг Фердинанд фон Хелмхолц (Потсдам, 31. август 1821 — Берлин, 8. септембар 1894) је био немачки лекар и физичар. Сматра се једним од најзначајнијих научника 19. века. „Херман фон Хелмхолц", Википедија, преузето 23. 2. 2025, https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Херман_фон_Хелмхолц.

Bjerknes)[5] и Макса Маргулеса (Max Margules)[6] можемо сматрати „пионирима модерне метеорологије".[7]

Ширење мреже метеоролошких станица је омогућило да се после одређеног временског периода сагледају особине климе неког места или подручја. Клима је законита наизменичност метеоролошких процеса, одређена комплексом физичко-географских услова, која се испољава у многогодишњем режиму времена, осматраном на одређеном месту.[8] Клима на Земљи је одређена енергијом која долази од Сунца. У делу *Канон осунчавања Земље* Милутин Миланковић је објавио математичку теорију климе и утврдио да клима зависи од астрономских параметара, од променљивости Земљиног положаја у односу на Сунце (небеска механика), као и да се клима мењала у периодима од неколико десетина хиљада година (ледена и међуледена доба) током геолошке прошлости.[9] Вјачеслав Жардецки (Wenceslas Jardetzky) је, поред објашњења поларне светлости, први међу истраживачима свог доба дао тумачење облачности у високим слојевима атмосфере као последицу Сунчеве активности и утицаја наелектрисаних честица Сунчевог ветра.[10]

Реконструкција температуре у прединструменталном периоду мерења омогућила је боље разумевање променљивости овог метеоролошког параметра. Утврђена је повезаност температурне варијабилности и променљиве активности Сунца у периодима трајања од неколико десетина и стотина година, као што су мала ледена доба, средњовековни оптимум и савремени максимум.[11] Последњих деценија истраживања су усмерена на проналажење везе између про-

[5] Вилхелм Фриман Корен Бјеркнес (Кристијанија, 14. март 1862 – Осло, 9. април 1951) је био норвешки физичар и метеоролог који је много допринео увођењу модерне праксе прогнозирања времена. „Vilhelm Bjerknes", Wikipedia, преузето 23. 2. 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Vilhelm_Bjerknes.

[6] Макс Маргулес (Броди, 23. април 1856 – Перхтолдсдорф, 4. октобар 1920) је био аустријски математичар, физичар, хемичар и метеоролог. „Max Margules", Wikipedia, преузето 23. 2. 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Max_Margules.

[7] Марјан Чадеж, *Метеорологија* (Београд: БИГЗ, 1973), 6–7.

[8] Душан Дукић, *Климатологија са основима метеорологије* (Београд: Научна књига, 1967), 172–173.

[9] Милутин Миланковић, *Канон осунчавања и његова примена на проблем ледених доба* (Београд: Завод за уџбенике и наставна средства, 1997), 87–100.

[10] Вјачеслав Жардецки, *О неким појавама у високим слојевима атмосфере* (Београд: Глас Српске краљевске академије CXX, 1926), 133–141.

[11] J. A. Eddy, „The Maunder minimum", *Science,* 192, 4245 (1976): 1189–1202; J. D. Haigh, „The Sun and the Earth's climate", *Living Reviews Solar Physics,* 4, 2

менљиве активности Сунца и процеса у Земљиној атмосфери који трају неколико дана или година.[12]

Сунце има променљиву активност која је најбоље изражена у виду активних региона. Наелектрисане честице, после ерупције из активних региона (пеге) и/или короналних рупа из геоефективне позиције на Сунцу, крећу се дуж линија међупланетарног магнетног поља (Сунчев ветар) и улазе у атмосферу Земље. Већина соларних честица улази у Земљину атмосферу на поларним географским ширинама, с ноћне стране магнетосфере, која иначе делује као штит од Сунчевог зрачења.[13] Резултати проучавања утицаја Сунчеве активности на процесе у атмосфери Земље допринели су све већем броју доказа о повезаности Сунчевог ветра и метеоролошких појава. Овде ћемо изнети неколико карактеристичних примера из многобројних научних радова.

Јаки вантропски циклони на северној хемисфери јављају се у року од неколико дана од доласка брзих наелектрисаних честица Сунчевог ветра које настају из короналних рупа.[14] Значајна корелација између брзине Сунчевог ветра и температуре површине мора у региону северног Атлантског океана зависи од брзине и усмерења вертикалне компоненте интерпланетарног магнетног поља (Bz) паралелне са Земљиним магнетним диполом.[15] Струјни токови великих брзина, који су долазили из короналних рупа на Сунцу, били су праћени брзим интензивирањем тропских олуја.[16] Наилазак соларних протона

(2007): 1–64; L. J. Gray et al. „Solar influences on climate", *Reviews of Geophysics,* 48, RG4001 (2010).

[12] N. D. Marsh and H. Svensmark, „Low cloud properties influenced by cosmic rays", *Physics Review Letters* 85, 23 (2000): 5004–5007. I. P. Gabis & O. A. Troshichev, O.A., „Influence of short-term changes in solar activity on baric field perturbations in the stratosphere and troposphere", *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics,* 62 (2000): 725–735. N. Todorovic & D. Vujovic, „Effect of solar activity on the repetitiveness of some meteorological phenomena", *Advances in Space Research,* 54 (2014): 2430–2440.

[13] J. Lilensten & J. Bornarel, „Space weather, environment and societies", *Dordrecht: Springer* (2006): 242.

[14] P. Prikryl et al., „A link between high-speed solar wind streams and explosive extratropical cyclones", *Journal of Atmospheric Solar-terrestrial Physics,* 149 (2016): 219–231.

[15] L. Zhou et al., „Correlations of global sea surface temperatures with the solar wind speed", *Journal of Atmospheric Solar-Terrestrial Physics,* 149 (2016): 232–239.

[16] P. Prikryl, L. Nikitina & V. Rusin, „Rapid intensification of tropical cyclones in the context of the solar wind magnetosphere-ionosphere-atmosphere coupling", *Journal of Atmospheric Solar-Terrestrial Physics,* 183 (2019): 36–60.

са енергијама честица већим од 90 MeV доприноси интензивирању регенерације циклона у близини југоисточне обале Гренланда на поларном (арктичком) фронту, док је смањење галактичких космичких зрака услед Форбушовог ефекта[17] интензивирало антициклонске процесе на поларном фронту.[18] Поновљивост три тропска циклона (Катрина, Вилма и Рита) у Мексичком заливу на сваких приближно 27 дана током сезоне 2005. године имала је исту периодичност као и регистрација уласка Сунчевог ветра у атмосферу Земље.[19] Почетна фаза развоја тропског циклона (тропска депресија) јавља се након два до четири дана, док се фаза урагана јавља у просеку пет и по дана након уочавања уласка Сунчевог ветра на сателитима.[20] Хладни фронт пролази преко Београда у просеку после 7 дана (у 61% случајева у року од 6 до 8 дана) од термина скока вредности индекса геомагнетне активности (GAI), који је показатељ уласка наелектрисаних честица Сунчевог ветра у атмосферу Земље.[21]

Клима или поднебље представља скуп временских појава и атмосферских процеса који карактеришу средње физичко стање атмосфере изнад неког места или предела. Средње физичко стање добија се дугогодишњим осматрањем и мерењем метеоролошких параметара и појава. Опште је позната чињеница да је Сунчева енергија главни чинилац у атмосферским процесима. Миланковић је утврдио да се клима на Земљи (и на другим планетама) мења на великим временским скалама у сагласности са променом астрономских параметара услед чега се мења и количина Сунчеве енергије која долази на планету. У том случају логика налаже да су одређени процеси и појаве у Земљиној атмосфери на малим временским скалама, који као скуп на великим временским скалама одређују климу, такође повезани са активношћу Сунца. Последњих деценија космичком технологијом је утврђено да је једна од значајних особина Сунца његова променљи-

[17] Форбушов ефект (Forbush decrease) је брзо смањење уоченог интензитета галактичких космичких зрака након избацивања короналне масе са Сунца (coronal mass ejection – CME).

[18] S. Veretenenko, „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*, 81, 2 (2017): 260–263.

[19] Сунце се окрене око сопствене осе за приближно 27 земаљских дана.

[20] Todorovic and Vujovic, „Effect of solar activity on the repetitiveness of some meteorological phenomena".

[21] N. Todorovic and D. Vujovic, „Links between geomagnetic activity and atmospheric cold fronts passage over the Belgrade region, Serbia", *Meteorological Applications*, 29, 6 (2022): e2107.

ва активност која подразумева променљивост интензитета зрачења електромагнетне енергије,[22] Сунчевог и међупланетарног магнетног поља и Сунчевог ветра, кога чине наелектрисане честице. У овом раду се разматра утицај променљивих параметара Сунчеве активности на процесе у атмосфери Земље. У ужем смислу, разматра се кретање наелектрисаних честица Сунчевог ветра у магнетном пољу Земље на основу универзалних закона електромагнетизма и њихов утицај на стварање кружних (вртложних) кретања ваздуха.

2. Магнетно поље планете Земље

Земља има своје магнетно поље. Претпоставља се да се због протока електричне струје (телурске струје) кроз унутрашњост планете, пре свега, кроз гвоздено језгро, по законима електромагнетизма ствара њено магнетно поље. Земљино магнетно поље простире се до висине од око 80.000 km (магнетосфера). Земљино магнетно поље има свој северни и јужни магнетни пол чије се позиције на површини планете разликују од позиција географских полова. На северној хемисфери постоје два центра са највишим вредностима магнетног поља (Канада, Сибир), а на јужној један. У области Атлантика и Јужне Америке постоји аномалија где је магнетно поље слабије. Магнетни полови се померају.[23] 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.

3. Електрично поље Земље

Јонизовани хемијски елементи у атмосфери се непрестано стварају и уништавају. Јонизацију изазивају ултраљубичасто и рендгенско зрачење, као део спектра Сунчевог нематеријалног зрачења, и наелектрисане елементарне честице, протони и електрони, који улазе у Земљину атмосферу са Сунца у облику Сунчевог ветра и из дубине

[22] „Соларна константа" је променљива величина која зависи од активности Сунца (1307–1393 W/m^2), а просечна вредност износи 1353 ± 21 W/m^2. „Solarna energija i njeno korišćenje", Mini Inženjering, pristupljeno: 27. 2. 2025, https://www.mini-ing.biz/pdf/2017/01solarnaenergijainjenokoriscenje.pdf.

[23] „Promene magnetnog polja Zemlje", Astronomski magazin, preuzeto 27. 2. 2025, https://www.astronomija.org.rs/sunev-sistem-74117/planete-43591/zemlja-90410/10199-promene-magnetnog-polja-zemlje.

свемира као космичко зрачење. Сваки јон има своје електрично поље око себе, а електрично поље атмосфере је резултанта свих елементарних поља. Електрични потенцијал атмосфере је електрични напон у односу на површину Земље и он расте с висином. Посебно се брзо повећава у слоју до 1 km. Ова промена потенцијала с висином показује јачину електричног поља, која на површини износи 130 V/m, а на висини од 12 km само 4 V/m.[24]

У атмосфери постоје две врсте електричних струја. Проводне струје су узроковане кретањем постојећих јона у ваздуху и обично су слабе. Када се успостави критична разлика потенцијала између две области атмосфере, долази до пражњења у виду муње и грмљавине. Конвективне струје представљају кретање млазева наелектрисаних честица (протона и електрона) високе кинетичке енергије који улазе у атмосферу у виду Сунчевог ветра и који се крећу дуж линија резултантног магнетног поља насталог од међупланетарног и геомагнетног поља. Конвективне струје нису последица разлике у електричном потенцијалу између облака и земље. Протонску муњу карактерише јака електрична струја и релативно низак напон, а електронску слаба електрична струја и високи напон.[25]

Механизам муње у тропосфери је сличан формирању аурора и других светлосно-електромагнетних појава у јоносфери.[26] Наелектрисане честице Сунчевог ветра при судару са атомима хемијских елемената у ваздуху померају накратко електроне у њиховим електронским љускама на виши енергетски ниво. При враћању у основно стање, електрони ослобађају енергију у облику светлости.

4. Вртложна (кружна) кретања у атмосфери Земље

У атмосфери непрестано постоји кретање ваздуха у односу на површину тла (ветар). Основна особина ветра је промена правца и брзине. Нарочито је значајна особина стална промена брзине (маховитост, ударност, рафалност) која је углавном последица вртложног (турбулентног, неуређеног) кретања којем је ваздух изложен при кретању изнад Земљине површине услед трења. Ови

[24] Keri Nicoll, „Earth's electric atmoshere", Metlink.org, preuzeto 27. 2. 2025, https://www.metlink.org/wp-content/uploads/2020/11/PhysRev25_4_Nicoll.pdf.

[25] Nedeljko Todorović, „Flashes in the Sky. Light – electromagnetic records in the Earth's atmosphere", *Review of the NCD*, 45 (2024): 77–87.

[26] Ibid., 29.

вртлози малих димензија, од неколико милиметара до неколико метара, и различитих смерова ремете кретање ваздуха. У атмосфери Земље не постоји ламинарно[27] струјање ваздуха, односно нема ветра без маховитости. На променљивост ветра највише утичу узвишења и удубљења на површини Земље (орографија). У овом раду не разматрају се вртложна (турбулентна) струјања ваздуха малих размера већ вртложна кретања великих размера као што су области ниског притиска (циклони умерених ширина, тропски циклони, торнада)[28] и високог притиска (антициклони). Анализом, пре свега, вредности ваздушног притиска, температуре и ветра у приземљу (метеоролошке станице на тлу), на метеоролошким (синоптичким)[29] картама су уочене области ниског и високог атмосферског притиска. У склопу циклона налазе се атмосферски фронтови као уске зоне раздвајања ваздушних маса различитих особина: топле и хладне, влажне и суве, стабилне и нестабилне и друге.[30] У стратосфери, приближно на висини од 40 до 50 km изнад полова, где је атмосферски притисак 1 hPa,[31] вртложна кретања имају скоро правилан кружни облик (стратосферски поларни вртлог). Генерално посматрано, по дубини атмосфере, у циклону је хладан, а у антициклону топао ваздух. Ипак, у нижим слојевима тропосфере, у циклону до фазе оклудирања, постоји топли сектор, а у антициклону у хладној половини године, нарочито при ведрим ноћима и снежном покривачу, у плитком слоју постоји значајно хлађење ваздуха и стварање температурне инверзије.

Француски математичар Декарт (René Descartes)[32] је међу првим научницима изнео теорију о вртлозима тврдећи да су сва природна кретања кружна. Увео је претпоставку да је универзум испуњен ма-

---

[27] Ламинарно струјање се одликује кретањем честица гаса или течности по паралелним трајекторијама без промене брзине.

[28] Циклон од грчког κύκλος – круг. У циклонима на северној хемисфери струјање ваздуха је у смеру обрнутом од казаљке на сату, а у антициклонима супротног смера од оног у циклону.

[29] Синоптика је грана метеорологије која се бави анализом и прогнозом времена.

[30] Чадеж, *Метеорологија*, 91–94.

[31] У Међународном систему јединица, јединица за притисак је Pa (паскал), hPa=100 Pa, а у метерологији се равноправно користи и милибар (1 mb = 1 hPa).

[32] Рене Декарт (Ла Еј, Француска, 31. март 1596 — Стокхолм, Шведска, 11. фебруар 1650) је био француски филозоф и математичар. „Рене Декарт“. Википедија, преузето 30. 4. 2025, https://sr.wikipedia.org/sr-el/Рене _Декарт.

теријом која се помоћу неког првобитног кретања претворила у систем вртлога који држи планете, звезде, Сунце и комете на својим путањама.[33] Декартови вртлози су били ковитлања у мору честица. С данашње временске раздаљине, може се рећи да је Декартова теорија о вртлозима била претеча касније утврђеног закона да између два материјална тела делује сила гравитације и да наелектрисање у магнетном пољу под утицајем Лоренцове силе скреће у смеру њеног дејства и не креће се праволинијски.

5. Закони кретања ваздуха на Земљи

Данијел Бернули (Daniel Bernoulli)[34] је 1738. године у својој књизи *Хидродинамика* (Hydrodynamica sive de viribus et motibus fluidorum commentari) формулисао принцип кретања флуида без трења: „Збир потенцијалне, кинетичке и енергије поља притиска остаје константан дуж исте струјнице" (Бернулијева једначина). У пракси је најбољи пример за ово одржавање авиона у ваздуху: изнад горње површине крила авиона ваздух брже опструјава па је притисак ваздуха нижи него испод крила. Разлика у притисцима условљава силу која је позната као сила узгона.

Њутнови закони[35] представљају скуп три закона класичне физике. Они описују везу између кретања тела и сила које делују на тело. Закони су објављени у књизи *Математички принципи природне филозофије* (Philosophiae Naturalis Principia matematica) 1687. године. Ови закони чине темеље класичне механике. Њутн их је користио да објасни и истражи кретање многих физичких објеката и система као што су, на пример, планете.[36] Први закон квалитативно дефинише силу, други закон нуди квантитативну меру силе, а трећи тврди да појединачна изолована сила не постоји. Иначе, није пouздано утврђе-

---

[33] Ћурић, *Историја метеорологије*, 91.

[34] Данијел Бернули (Гронинген, 8. фебруар 1700 — Базел, 17. март 1782) је био швајцарски лекар, физичар и математичар. „Данијел Бернули", Википедија, преузето 28. 4. 2025, https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Данијел_Бернули.

[35] Исак Њутн (Линколншир, 4. јануар 1643 — Лондон, 31. март 1727) је био енглески физичар, математичар, астроном. „Исак Њутн", Википедија, преузето 28. 4. 2025, https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Исак_Њутн.

[36] „Њутнови закони", Википедија, преузето 28. 4. 2025, https://sr.wikipedia.org/sr-el/Њутнови_закони.

но који је од тројице научника, Роберт Хук (Robert Hooke),[37] Готфрид Вилхелм Лајбниц (Gottfried Wilhelm Leibniz)[38] или Исак Њутн (Isaac Newton), први дефинисао силу гравитације.[39] У циљу бољег разумевања кретања ваздуха у атмосфери Земље овде ћемо укратко изложити Њутнове законе.[40] Први Њутнов закон, закон инерције, каже: „Свако тело остаје у стању релативног мировања или равномерног праволинијског кретања све док га деловање или дејство другог тела не присили да се то стање промени." Други Њутнов закон, закон односа силе и масе, каже: „Промена кретања пропорцијална је сили која делује и врши се у правцу у коме сила делује. У инерцијалном референтном систему векторски збир сила F које делују на објект једнак је маси m тог објекта, помноженој убрзањем a објекта: F = ma." Овде се претпоставља да је маса (m) константна. Трећи Њутнов закон, закон узајамног дејства, каже: „Када једно тело делује силом на друго тело, друго тело истовремено делује силом једнаке величине и супротног смера на прво тело." Из трећег Њутновог закона произилази и закон одржања количине кретања: „Резултујући вектор количине кретања затвореног система остаје сталан за све време кретања. Промена укупне количине кретања система сила одређена је импулсом резултанте спољашњих сила. Под утицајем унутрашњих сила систем не може да промени своју укупну количину кретања." Галилејев принцип релативности каже: „Никаквим механичким огледима извршеним у систему није могуће одредити да ли се инерцијални систем налази у стању мировања или се равномерно и праволинијски креће." Сила градијента притиска је усмерена у смеру најбржег опадања притиска, а по интензитету је једнака смањењу притиска у том смеру по једини-

[37] Роберт Хук (Фрешвотер, 18. јул 1635 — Лондон, 3. март 1703) је био енглески физичар и секретар Краљевског друштва у Лондону који је 1665. године открио ћелију. Усавршио је барометар, телескоп и микроскоп, „Роберт Хук", Википедија, преузето 28. 4. 2025, https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Роберт_Хук.

[38] Готфрид Вилхелм Лајбниц (Лајпциг, 1. јул 1646 — Хановер, 14. новембар 1716) је био немачки филозоф, математичар и проналазач. Установио је инфинитезимални рачун независно од Њутна и бинарни систем који представља основу модерне рачунарске технологије. „Готфрид Вилхем Лајбниц", Википедија, преузето 28. 4. 2025, https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Готфрод_Вилхелм_Лајбниц.

[39] Ћурић, *Историја метеорологије*, 308.

[40] Сергеј Фриш и Александра Тиморјева, *Курс опште физике, књига* I (Београд: Завод за издавање уџбеника СРС, 1970), 36–65.

ци растојања.[41] Блез Паскал (Blaise Pascal)[42] је први утврдио да притисак ваздуха опада са висином.[43] Пјер Симон Лаплас (Pierre-Simon, Marquis de Laplace)[44] је 1823. године у раду „Небеска механика" први објаснио да је вертикална компонента силе градијента притиска углавном у равнотежи са силом гравитације („хидростатички закон"). Разлика између те две силе назива се сила потиска коју је први објаснио Архимед (Αρχιμήδης).[45]

Силу трења или силу смицања Њутн је дефинисао у *Принципима*: „Отпор проистиче због клизања у делу флуида и сразмеран је разлици брзина између два дела флуида."[46]

Центрифугалну силу[47] која се јавља при кружном кретању описао је Кристијан Хајгенс (Christiaan Huygens)[48] 1659. године: „Сила делује у поље у правцу нормалном у односу на осу ротације". Сила је сразмерна квадрату брзине и обрнуто сразмерна растојању тела од осе ротације. Центрифугална сила се јавља када се кретање ваздуха посматра у односу на систем који је везан за Земљу (релативни систем кретања).[49] Центрипетална сила[50] узрокује да тело следи закривљену путању. Њен правац је увек ортогоналан на вектор брзине тела у датој тачки и усмерен је према центру закривљене путање. У покретном, неинерцијалном референтном систему везаном за тело које ротира, не види се центрипетална сила, али да би се објаснило кретање уводи се центрифугална сила која има исти интензитет и правац као центри-

---

41 Чадеж, *Метеорологија*, 23.

42 Блез Паскал (Клермон-Феран, 19. јун 1623 — Париз, 19. август 1662) је био француски математичар, физичар и филозоф. „Блез Паскал", Википедија, преузето 28. 4. 2025, https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Блез_Паскал.

43 Ћурић, *Историја метеорологије*, 309.

44 Пјер-Симон, Маркиз де Лаплас (Нормандија, 23. март 1749 — Париз, 5. март 1827) је био француски математичар и астроном. „Пјер Симон Лаплас", Википедија, преузето 28. 4. 2025, https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Пјер_Симон_Лаплас.

45 Архимед (Сиракуза, 287. пре н. е. — 212. пре н. е.) је био старогрчки математичар, физичар и астроном из Сиракузе на Сицилији. „Архимед", Википедија, преузето 28. 4. 2025, https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Архимед.

46 Ћурић, *Историја метеорологије*, 310.

47 Ibid., 311. Од латинског *fugere* – бежати и *centrum* – центар.

48 Кристијан Хајгенс (Хаг, 14. април 1629 — Хаг, 8. јул 1695) је био холандски математичар, астроном и физичар. „Кристијан Хајгенс", Википедија, преузето 29. 4. 2025, https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Кристијан_Хајгенс.

49 Ћурић, *Историја метеорологије*, 311.

50 Од латинског *centrum* – центар и *petere* – тражити.

петална сила, али је супротног смера у односу на центрипеталну силу и усмерена је од центра закривљене путање.[51] У униформном магнетном пољу, у одсуству других спољних сила, наелектрисане честице се крећу у спирали. Тада магнетна сила представља центрипеталну силу која делује према оси спирале.

Гаспар Густав Кориолис (Gaspard-Gustave de Coriolis)[52] је 1835. године утврдио да постоји сила која делује на тело (ваздух) које се креће у односу на тло које ротира (Земља) удесно на северној хемисфери и сразмерна је брзини кретања (Кориолисова сила). На јужној хемисфери делује улево. Кориолисова сила не мења кинетичку енергију ваздуха у циклону што значи да не врши никакав рад, већ само мења смер вектора брзине кретања.[53] Последица је инерцијалне силе која је стално усмерена према центру круга.

6. Силе које делују на кретање ваздуха у атмосфери

Основне силе у атмосфери делују на кретање ваздуха независно од ротације Земље (спољашње или реалне силе). На основу другог Њутновог закона то су силе које делују на кретање које се посматра у односу на координатни систем чије су осе фиксиране у простору (усмерене у правцу звезда некретница). Најважније од ових сила су: сила градијента притиска, гравитациона сила и сила трења.

Брзина ветра (кретање ваздуха) одређује се у односу на површину Земље у координатном систему који мирује у односу на Земљу. Њутнови закони кретања могу да се примене на кретања у покретном систему, односно у систему који је везан за Земљу када се узме у обзир убрзање тог система у односу на непокретни систем (према звездама). То захтева увођење „привидних" сила: центрифугалне и Кориолисове. Центрифугална сила се јавља кад неко тело (ваздух)

[51] Центрипетална и центрифугална сила су две различите силе у два различита референтна система па се никада не цртају на истој слици (центрипетална сила – инерцијални референтни систем, центрифугална – неинерцијални референтни систем). „Инерцијални и неинерцијални референтни системи", Физика, преузето 2. 5. 2025, https://fizis.rs/inercijalni-i-neinercijalni-referentni-sistemi/.

[52] Гаспар Густав де Кориолис или Гистав Кориолис (Париз, 21. мај 1792 — Париз, 19. септембар 1843) је био математичар, инжењер механике и научник. Најпознатији је по свом раду на Кориолисовом ефекту. „Гаспар Гистав Кориолис", Википедија, преузето 4. 5. 2025, https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Гаспар_Гистав_Кориолис.

[53] Млађен Ћурић, *Динамичка метеорологија* (Београд: RHMZ, 2002), 91.

ротира, а Кориолисова у случајевима када постоји релативна брзина тела које се креће у односу на ротирајући систем.

Истовременим дејством више сила настају сложене силе. Сила Земљине теже је резултанта дејства силе гравитације и центрифугалне силе (ефективна гравитација). Сила потиска је резултанта (разлика) дејства вертикалне компонента силе градијента притиска и силе Земљине теже.[54]

7. Основне једначине које описују догађања у атмосфери

Леонард Ојлер (Leonhard Euler)[55] је 1755. године написао једначину кретања за флуид (гас или течност). „Због сложености процеса у атмосфери, Вилхелм Бјеркнес је 1904. године издвојио 6 основних једначина на основу најважнијих закона којима се процеси могу формулисати и математички изразити. У обзир су узети сила Земљине теже, Кориолисова сила, сила градијента притиска, закон о очувању масе, први принцип термодинамике и величине које описују стање гаса. Тих 6 једначина са 6 променљивих величина у атмосфери су: три компоненте једначине кретања, једначина континуитета, први принцип термодинамике и једначина стања. Зависно променљиве величине у једначинама су три компоненте брзине кретања, притисак, густина и температура."[56] Тумачење појединих процеса у атмосфери су обрађивали многи математичари, физичари, астрономи и други научници од којих су се неки посветили метеорологији. Феликс Екснер (Felix Maria von Exner-Ewarten)[57] је 1917. године објавио први уџбеник из динамичке метеорологије с намером да обједини дотадашња знања из области метеорологије.

---

[54] Чадеж, *Метеорологија*, 66.

[55] Леонард Ојлер (Базел, 15. април 1707 — Санкт Петербург, 18. септембар 1783) је био швајцарски математичар и физичар. Живео је и радио у Берлину и Санкт Петербургу. „Леонард Ојлер", Википедија, преузето 4. 5. 2025, https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Леонард_Ојлер.

[56] Ђуро Радиновић, *Анализа времена* (Београд: Завод за издавање уџбеника, 1969), стр. 83.

[57] Феликс Екснер (Беч, 23. август 1876 — Беч, 7. фебруар 1930) је био аустријски физичар и метеоролог. Экснер,_Феликс_Мария „Экснер, Феликс Мария", Википедия, преузето 4. 5. 2025, https://ru.wikipedia.org/wiki/Экснер,_Феликс_Мария.

8. Теорије настанка циклона

У 16. веку започињу и теоријска тумачења настанка олуја. У 19. веку, уместо речи „олуја" почео је да се употребљава назив „циклон". Хенри Пидингтон (Henry Piddington)[58] је 1842. године у књизи *Књиīа за морнаре* (*The Sailor's Horn-book for the Law of Storms*) први употребио реч „циклон". Појављују се бројне различите теорије о настанку олуја (циклона) и дефинишу се силе које учествују у кретању ваздуха. Макс Маргулес је заступао енергетски приступ тумачења развоја циклона. Енергија олуја је толико велика да за њу није довољна енергија поља притиска (сила градијента притиска) већ да је извор енергије за кретања у олуји потенцијална енергија ваздуха и асиметрична расподела температуре.[59] Циклонални вртлози су на основу димензија класификовани на циклоне синоптичких размера, односно на оне који се могу уочити анализом на синоптичким картама (циклони умерених ширина, пречника 1–2 хиљаде километара, и тропски циклони, пречника неколико стотина километара), и вртлоге несиноптичких, малих размера (мезоциклони, торнада, водени вртлози – пијавице, прашински и водени ђаволи и ватрени вртлози).

Циклон је систем вртложног кретања ваздуха у атмосфери чија се оса вртложења поклапа са осом ниског притиска. Антициклон је област повишеног атмосферског притиска са смером вртложења обрнутим оном у циклону.[60] Најбитније физичке особине циклона први је 1863. године запазио и описао енглески поморски официр Роберт Фицрој (Robert FitzRoy)[61]. Настанак циклона данас се најчешће тумачи теоријом поларног фронта која је развијена у „Бергенској метеоролошкој школи". Уздуж линије где се додирују хладнији ваздух из поларних предела и топли из јужних ширина, као и онде где постоје довољно изражене температурне разлике (поларни фронт), „може

[58] Хенри Пидингтон (7. јануар 1797 – 7. април 1858) је био капетан и управник музеја у Калкути, у време док је Индија била колонија Енглеске. „Henry Piddington", Wikipedia, преузето 15. 9. 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Piddington.

[59] Ћурић, *Историја метеорологије*, 296–325.

[60] Радиновић, *Анализа времена*, 124.

[61] Роберт Фицрој (5. јули 1805 – 30. април 1865) је био вицеадмирал Краљевске морнарице, политичар и научник који је служио као други гувернер Новог Зеланда између 1843. и 1845. године. Фицрој је био метеоролог који је правио дневне временске прогнозе, а године 1854. основао је систем за достављање временских информација морнарима и рибарима ради њихове безбедности касније названо Метеоролошка служба. FitzRoy", Wikipedia, Vikipedia, преузето 30. 11. 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_FitzRoy.

настати поремећај" који за последицу има продор хладне ваздушне масе према југу, а топле према северу. Фронтална линија поприма изглед малог таласа. Ако у атмосфери постоје повољни услови, мали талас на фронту се временом повећава, а границе различитих ваздушних маса, које продиру према југу односно северу, попримају одлике атмосферских фронтова, на којима се ваздух уздиже, при чему се водена пара кондензује и тако настају облаци и падавине.

Тропски циклони настају на малим географским ширинама, углавном између 10 и 20 степени. „У суштини, теорија физичара Хелмхолца је још увек и данас у важности. Енергија за настанак и одржавање тропског циклона добија се првенствено од топлоте кондензације водене паре при стварању тропских киша. Везани су са транспорт хладнијих ваздушних маса на топло море температуре од најмање 27 степени. Влажан ваздух се подиже и хлади до засићења што доводи до јаког развоја облака и ослобођавања топлоте кондензације. Јаки ротирајући ветрови су резултат очувања угаоног момента узрокованог ротацијом Земље."[62]

Торнадо је брзо ротирајући стуб ваздуха испод основе јаког конвективног облака и додирује тло. Левкастог је облика и видљив је по сниженом нивоу кондензације и по отпаду који подиже са тла. Разорни ветар повезан са торнадом протеже се и изван левка, а понекад чак и у одсуству добро дефинисаног левкастог облака. Један тронадо може да има више вртлога. Радијални профил тангенцијалне брзине ветра и вертикална брзина нису добро познати. Притисак у центру торнада може се проценити на основу мерења максималне тенгенцијалне брзине ветра, а на површини тла може да буде нижи за 40 hPa од околног ваздуха. Подизање тешких предмета указује на постојање градијентних сила притиска навише које су неколико пута веће од гравитационог убрзања.[63] Да би се генерисао торнадо, вртложност у ротирајућем узлазном току мора да достигне вредности реда величине 10^{-2} s^{-1}, два реда величине јаче од Земљине ротације. Ротирајући ваздушни стуб мора бити истегнут вертикално (или генерално, у смеру паралелном његовој оси ротације) да би се додатно појачала вртложност, а при томе се брзина ветра повећава обрнуто пропорционално полупречнику ротације. Ротација у суперћелијској олуји која даје торнадо постепено се повећава током периода од неколико сати, али се сам развој торнада одвија много брже. Типично трајање торнада је реда величи-

[62] Чадеж, *Метеорологија*, 160.

[63] При хидростатичкој равнотежи притисак ваздуха се смањује с висином за 1 hPa на 8 метара.

не десетина минута, током којих се они крећу са олујом. Торнада која нису везана за суперћелијску олују настају када део граничног слоја са циркулацијом око вертикалне осе дође у вертикално поравнање са снажним узлазним струјањима конвективних размера.[64]

9. Недоумице и питања

У овом раду се не излажу детаљна објашњења процеса у атмосфери. Дат је преглед основних сила које утичу на кретање ваздуха у атмосфери Земље. У уџбеницима метеорологије дају се теоријска објашњења настанка циклона и тумачење вртложног кретања ваздуха тако да се они могу сматрати општеприхваћеним. Међутим, у тумачење настанка циклона потребно је укључити нове научне чињенице о процесима у атмосфери, које су, пре свега, повезане са променљивом активношћу Сунца. Временом, нова научна сазнања у неким детаљима надограђују постојеће теоријске основе. Овде износимо само неколико општих запажања која доводе у питање општеприхваћено тумачење настанка циклона и која се морају узети у обзир како би се већ постојеће теоријске основе допуниле.

„Зна се да постоји више могућности настанка и развоја циклона. Не постоји нека општеважећа теорија о постанку и развоју циклона."[65] „Слободно можемо рећи да данас још не знамо тачно како настају циклони. Постоји више теорија о постанку циклона које се базирају на запаженим чињеницама, а које не узимају у обзир све бројне факторе који једновремено утичу на постанак и развој циклона."[66] Бројни фактори су земаљски али и ванземаљски јер професор Чадеж у истом уџбенику после објашњења о значају Сунца као извору енергије за атмосферу Земље, каже: „Данас су утврђене разне везе између броја Сунчевих пега и стања атмосфере, временских прилика као и живота на Земљи (болести, број смртних случајева, раст шума, средња температура ваздуха, стање ледника и др.)."[67]

Осим ових претходно јасно изражених недостатака преовлађујућих теорија о настанку циклона, овде излажемо чињенице које појачавају недоумице везане за тумачење настанка циклона. Да ли је случајно да се изворишне области вантропских циклона поклапају

[64] John Michael Wallace and Peter Victor Hobbs, *Atmospheric Science: An Introductory Survey*, 2nd edition (Academic Press/Elsevier, 2006), 483.

[65] Радиновић, *Анализа времена*, 129.

[66] Чадеж, *Метеорологија*, 160.

[67] Ibid., 72.

са областима најјачег магнетног поља планете? Зашто се тропски циклони не стварају у неким морима где је температура воде у летњим месецима виша од 27 степени, на пример, у Црвеном мору или Средоземљу? Зашто се тропски циклони стварају у океанима само у појасу од приближно десете до двадесете паралеле на обе хемисфере? Да ли је случајно да тропски циклони настају само изнад океана где је магнетно поље јаче од оног изнад копна? Зашто се тропски циклони не стварају у јужном Атлантику, на одговарајућој географској ширини као у северном Атлантику, када је и ту море довољно топло крајем топле половине године (фебруар)? Да ли је случајно да се тропски циклони не стварају у јужном Атлантику где је магнетно поље најслабије од свих океана (геомагнетна аномалија)? Зашто у тропским циклонима нема атмосферских фронтова? Да ли је Кориолисова сила дејствујућа сила ако на северној хемисфери постоји антициклонални торнадо? До одговора на ова питања могло би се доћи тумачењем закона електромагнетизма примењених на кретање Сунчевог ветра у магнетном и електричном пољу атмосфере Земље.

10. Закони електромагнетизма, кретање наелектрисаних честица у магнетном и електричном пољу

Сунце непрекидно избацује наелектрисане честице у међупланетарни простор, а њихова густина, брзина и температура се значајно повећавају при ерупцијама из активних региона. Наелектрисане честице се крећу дуж линија међупланетарног магнетног поља и допиру до свих планета. Када се ерупција догоди у геоефективној позицији на Сунцу,[68] честице су усмерене ка Земљи. У атмосфери Земље наелектрисане честице настављају да се крећу дуж линија резултујућег магнетног поља насталог истовременим дејством интерпланетарног (Сунчевог) и Земљиног магнетног поља. Кретање честица у нижим слојевима атмосфере је под утицајем све јачег магнетног поља Земље и гравитације. „Кретање електрона и протона представља конвекциону електричну струју, а њихово кретање у магнетном пољу повинује се утврђеним законима електромагнетизма.”[69]

---

[68] Позиција активног региона на Сунцу од које су линије магнетног поља усмерене ка Земљи.

[69] Сергеј Фриш и Александра Тиморјева, *Курс општте физике, књиīа II* (Београд: Завод за издавање уџбеника СРС, 1970), 259–265.

Дански физичар Ханс Кристијан Ерстед (Hans Christian Ørsted)[70] је 1820. године експериментално утврдио да наелектрисање у кретању ствара магнетно поље. Електрицитет и магнетизам су две манифестације исте природне појаве.[71] Према Амперовом (André-Marie Ampère)[72] закону, на струјни ток (кретање наелектрисаних честица) дејствује Лоренцова (Hendrik Antoon Lorentz)[73] сила која узрокује скретање наелектрисаних честица.[74] На кретање наелектрисаних честица утиче и електрично поље Земље тако да на њих утиче електромагнетна сила, односно силе електричног и магнетног поља. Лоренцова сила је комбинација сила којима електромагнетско поље делује на наелектрисану честицу у покрету. Има две компоненте – електричну која је пропорционална електричном пољу E и наелектрисању честице q, и магнетну, која поред наелектрисања честице q и магнетне индукције поља B, зависи још и од брзине честице v, F = q (E + v x B). Смер силе је нормалан на смер брзине наелектрисања као и на смер вектора јачине магнетног поља, односно та сила је нормална на раван у којој се налазе вектори брзине и јачине поља. Смер силе се одређује правилом леве руке. Наелектрисане честице скрећу улево или удесно у зависности од типа наелектрисања у смеру дејства Лоренцове силе. Лоренцова сила има максималну вредност када се наелектрисање креће у смеру нормалном на смер јачине магнетног поља, а једнака је нули када се наелектрисање креће дуж линија јачине поља.[75]

---

[70] Ханс Кристијан Ерстед (14. август 1777 — Копенхаген, 9. март 1851) је био дански физичар и хемичар. Године 1820. је открио однос између електрицитета и магнетизма. Исту везу је 18 година раније начинио Италијан Ђан Доменико Ромањози (Gian Domenico Romagnosi). Белешка о Ромањозијевом открићу је објављена 1802. године у италијанским новинама, али ју је научна јавност превидела. „Ханс Кристијан Ерстед", Википедија, преузето 7. 5. 2025, https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Ханс_Кристијан_Ерстед.

[71] „Магнетно поље електричне струје", Физика, преузето 7. 5. 2025, https://fizis.rs/osnovna-skola/viii/magnetno-polje-elektricne-struje/.

[72] Андре-Мари Ампер (Лион, 20. јануар 1775 — Марсељ, 10. јун 1836) је био француски физичар, математичар и природњак, оснивач електродинамике. Засновао је теорију магнетизма у нераздвојивој вези са електрицитетом. „Андре-Мари Ампер", Википедија, преузето 7. 5. 2025, https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Андре-Мари_Ампер.

[73] Хендрик Антон Лоренц (Арнхем, 18. јул 1853 — Харлем, 4. фебруар 1928) је био холандски физичар који је развио електромагнетну теорију светлости. „Хендрик Антон Лоренц ", Википедија, преузето 7. 5. 2025, https://sr.wikipedia.org/wiki/Хендрик_Антон_Лоренц.

[74] Фриш и Тиморјева, *Курс опште физике, књига II*, 259–261.

[75] Ibid., 80.

По скретању наелектрисаних честица према другом Њутновом закону почиње дејство центрипеталне силе. При успостављању оваквог кружног кретања постоји само нормално (радијално, центрипетално) убрзање. Правац овог убрзања се поклапа са правцем полупречника, а смер је ка центру кружнице. Пошто постоји убрзање, мора да постоји и сила која је узрок тог убрзања. Ова сила има исти правац и смер као и нормално убрзање. Пошто је усмерена ка центру ротације назива се центрипетална сила. Центрипетална сила се уравнотежује центрифугалном силом и на тај начин се успоставља равномерно кружно кретање. Центрипетална сила није никаква посебна врста силе, није покретачка сила, већ само назив за било коју силу чије деловање доводи до кружног кретања тела око неког центра.[76]

Промена тангенцијалне силе примораваће тело да се креће брже или спорије (постоји тангенцијално убрзање). Тангенцијална сила мења интензитет брзине тела које се креће по кружној путањи, а центрипетална сила мења правац и смер тангенцијалне брзине. При кружном кретању промена брзине и/или масе и/или количине наелектрисаних честица и магнетне индукције узрокује промену тангенцијалног убрзања и тангенцијалне силе која тада представља покретачку силу. Као последица промене тангенцијалне силе мењају се и центрипетална сила и радијус кружне путање. „Лоренцова сила не делује само на појединачно наелектрисање које се креће (јони и електрони) већ и на било које макроскопско покретно наелектрисање у магнетном пољу."[77] „Ако се наелектрисане честице преносе кроз хомогена тела (чврста, течна, гасовита) онда се те честице сударају са атомима те средине кроз коју се крећу, преносећи на цело тело део силе која изазива кретање честица."[78] Динамички притисак наелектрисаних честица узрокује покретање честица ваздуха.

Овде изнете теоријске основе разматрања настанка кружног кретања (циклона) подударне су са општеприхваћеним научним схватањима да су у макросвету електромагнетна сила и гравитација основне покретачке силе, а да су остале последичне. Убрзано кретање неког референтног система доводи до тога да се тела крећу као да на њих делује нека тајанствена сила. Овакве привидне силе, које је физи-

[76] „Центрипетална сила", Физика, преузето 2. 5. 2025, https://fizis.rs/гимназија/i-разред/динамика-транслаторног-кретања/centripetalna-sila/.

[77] Фриш и Тиморјева, *Курс опште физике, књига II*, 333.

[78] Ibid., 83.

чар Леонард Млодинов (Leonard Mlodinow) у својој књизи *Еуклидов прозор* (*Euclid's Window: The Story of Geometry from Parallel Lines to Hyperspace*) назвао измишљеним силама јер не потичу из физичких извора, као што је, на пример, наелектрисање, могу да се одстране ако се читава поставка сагледа из другог референтног система који би био у равномерном кретању (такозвани инерциони систем).[79]

Кретањем наелектрисаних честица у атмосфери Земље, њиховом скретању у магнетном и електричном пољу под дејством Лоренцове силе, њиховим динамичким притиском на честице ваздуха и истовременим дејством гравитације, долази до стварања циклона и антициклона. Вртложна кретања типа циклона су забележена и на другим планетама, као и на Сунцу. Галаксија Млечни пут такође представља вртлог великих размера. Сличност са вртлозима на Земљи не може бити случајна.

11. Закључак

У космосу и у Сунчевом систему делују две природне макроскопске силе, електромагнетна и гравитациона, те је логично да оне утичу и на процесе у атмосфери Земље. Механизми настанка вртложних кретања у атмосфери Земље, као што су тропски циклони, циклони умерених ширина и торнада, нису разматрани детаљно, већ су дате само основне поставке. На основу закона електромагнетизма следи да је вртложно кретање ваздуха у циклону у атмосфери Земље првенствено узроковано следећим процесима: покретање масе ваздуха настаје дејством количине кретања атомских и субатомских наелектрисаних честица које долазе са Сунца (Сунчев ветар), а вртложно кретање у циклону може да се успостави дејством иницијалних макроскопских сила (електромагнетне – Лоренцове, и гравитационе). Силе, као што су центрипетална (центрифугална) и Кориолисова, јесу последичне силе (ефекти) које се јављају успостављањем кружног кретања у циклону. За потпуно сагледавање и тумачење процеса у атмосфери Земље требало би укључити већ утврђене законе као што су, на пример, закони кретања, термодинамике, зрачења и хемије. Разматрања о настанку циклона у овом раду дата су у циљу бољег разумевања и објашњења метеоролошких процеса у атмосфери Земље, а у ширем смислу утицаја Сунчеве активности и на процесе на другим планетама.

[79] Леонард Млодинов, *Еуклидов прозор* (Београд: Лагуна, 2005), 198.

„Dico ego, tu dicis, sed denique dixit et ille. Dictaque post toties, nil nisi dicta vides. [Ја сам то рекао, ти си то рекао, а онда и онај каже. Пошто се то тако често рекло, остаје још само да се види речено.]”[80]

[80] Артур Шопенхауер, *Еристичка дијалектика* (Нови Сад: Светови, 1997), 15.

Литература

1. Veretenenko, Svetlana. „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*, 81, 2 (2017): 260–263.
2. Gabis, I. P. and O. A. Troshichev. „Influence of short-term changes in solar activity on baric field perturbations in the stratosphere and troposphere". *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics,* 62 (2000): 725–735.
3. Gray, L. J. et al. „Solar influences on climate". *Reviews of Geophysics,* 48 (2010): RG4001.
4. Делијанић, Игор. *Општа метеорологија*. Београд: Завод за уџбенике и наставна средства, 1996.
5. Дукић, Душан. *Климатологија са основима метеорологије*. Београд: Научна књига, 1967.
6. Ћурић, Млађен. *Динамичка метеорологија*. Београд: РХМЗ, 2002.
7. Ћурић, Млађен. *Историја метеорологије*. Београд: БИГ штампа, 2006.
8. Eddy, A. John. „The Maunder minimum". *Science,* 192, 4245 (1976): 1189–1202.
9. Жардецки, Вјачеслав. *„О неким појавама у високим слојевима атмосфере"*. Београд: Глас Српске краљевске академије CXX, 1926.
10. Zhou, L. et al. „Correlations of global sea surface temperatures with the solar wind speed". *Journal of Atmospheric Solar-Terrestrial Physics,* 149 (2016): 232–239.
11. Lilensten, J. & J. Bornarel. *Space weather, environment, and societies.* Dordrecht: Springer, 2006.
12. Marsh, N. D. and H. Svensmark. „Low cloud properties influenced by cosmic rays". *Physics Review Letters,* 85, 23 (2000): 5004–5007.
13. Миланковић, Милутин. *Канон осунчавања и његова примена на проблем ледених доба*. Београд: Завод за уџбенике и наставна средства, 1997.
14. Млодинов, Леонард. *Еуклидов прозор*. Београд: Лагуна, 2005.
15. Prikryl, P. et al. „A link between high-speed solar wind streams and explosive extratropical cyclones". *Journal of Atmospheric Solar-terrestrial Physics,* 149 (2016): 219–231.
16. Prikryl, P. et al. „Rapid intensification of tropical cyclones in the context of the solar wind magnetosphere-ionosphere-atmosphere coupling". *Journal of Atmospheric Solar-Terrestrial Physics,* 183 (2019): 36–60.
17. Радиновић, Ђуро. *Анализа времена.* Београд: Завод за издавање уџбеника,1969.

18. Стеванчевић, Милан: *Хелиоцентрична електромагнетна метеорологија*. Београд: Милан Т. Стеванчевић, 2023.

19. Todorović, Nedeljko and Dragana Vujović. „Effect of solar activity on the repetitiveness of some meteorological phenomena". *Advances in Space Research,* 54 (2014): 2430–2440.

20. Todorović, Nedeljko and Dragana Vujović. „Links between geomagnetic activity and atmospheric cold fronts passage over the Belgrade region, Serbia". *Meteorological Applications* 29, 6 (2022): e2107.

21. Todorović, Nedeljko. „Flashes in the Sky. Light – electromagnetic records in the Earth's atmosphere". *Review of the NCD,* 45 (2024).

22. Чадеж, Марјан. *Метеорологија.* Београд: БИГЗ, 1973.

23. Фриш, Сергеј и Александра Тиморјева. *Курс опште физике, књига I, Механика, молекуларна физика, осцилације и таласи*. Београд: Завод за издавање уџбеника, 1970.

24. Фриш, Сергеј и Александра Тиморјева. *Курс опште физике, књига II, Електричне и електромагнетске појаве*, Београд: Завод за издавање уџбеника, 1970.

25. Haigh, D. Joanna. „The sun and the earth's climate". *Living Reviews Solar Physics*, 4, 2 (2007): 1–64.

26. Wallace, John Michael and Peter Victor Hobbs. *Atmospheric Science: An Introductory Survey*, 2nd edition. Academic Press/Elsevier, 2006.

Nedeljko Todorović
Republic Hydrometeorological Institute of Serbia, Belgrade

DEVELOPMENT OF THEORIES ON THE ORIGIN OF CYCLONES

Interest in weather conditions and their study dates back a long time. Ancient scientists and philosophers also left written records. A significant momentum began at the end of the 16th and 17th centuries with the construction of the first meteorological instruments. Regular measurements made it possible to discover the regularities of atmospheric processes, and theoretical works contributed to meteorology becoming a distinct scientific discipline in the following centuries. At the same time, based on new knowledge, scientists published numerous different theories about the formation of storms (cyclones) and defined the forces that participate in the movement of air. Later, in the 20th century, meteorology textbooks gave theoretical explanations of the formation of cyclones and the interpretation of the vortex movement of air that can be considered generally accepted. Milutin Milanković, using the mathematical theory of climate (celestial mechanics), determined that climate depends on energy from the Sun. Also, the connection between temperature variability and the variable activity of the Sun in periods lasting several tens and hundreds of years, such as the Little Ice Age, the Medieval Optimum, and the Modern Maximum, has been established. In recent decades, space technology has established that one of the significant properties of the Sun is its variable activity, which implies the variability of the intensity of electromagnetic energy radiation of the Solar and interplanetary magnetic fields and the Solar Wind, which consists of charged particles. The paper discusses the movement of charged particles of the Solar Wind in the Earth's magnetic field based on the universal laws of electromagnetism and their influence on the formation of cyclones. Several general observations and doubts are presented that call into question the 'generally accepted' interpretation of the formation of cyclones, and these should be taken into account when interpreting the formation of cyclones. Research in recent decades has been focused on finding a connection between the variable activity of the Sun and processes in the Earth's atmosphere that last for several days or years. In macroscopic terms, only two natural macroscopic forces, electromagnetic and gravitational, rule in the cosmos and the Solar System, and it is natural that they also apply to the Earth's atmosphere. For a complete understanding and interpretation of processes in the Earth's atmosphere, established laws such as those of motion, thermodynamics, radiation, and chemistry should be included. The consideration of the mechanism of the formation of vortex movements in the Earth's atmosphere, such as tropical cyclones, temperate cyclones, and

tornadoes, is not given in detail, but the basic principles are indicated. If the Earth did not have a magnetic field, which also means that no material energy in the form of charged particles from the Sun would enter its atmosphere, thermodynamic processes would prevail in the atmosphere as a result of the conversion of immaterial solar energy into heat. It is only through the movement of charged particles in the atmosphere, their deflection in the magnetic and electric fields under the action of the Lorentz force, their dynamic pressure on air particles, and the simultaneous action of gravity that areas of low (cyclone) and high pressure (anticyclone) are created. Based on the laws of electromagnetism, it follows that the vortex motion of air in a cyclone in the Earth's atmosphere is caused by the following processes: the movement of the air mass occurs under the action of the amount of motion of atomic and subatomic charged particles coming from the Sun, and the vortex motion in a cyclone can be established by the action of initial macroscopic forces (electromagnetic – Lorentz and gravity). Earth's forces, such as centripetal (centrifugal) and Coriolis, are consequential forces (effects) that occur when circular motion is established in a cyclone. The considerations on the formation of cyclones in this paper are given with the aim of better understanding and explaining the processes in the Earth's atmosphere, and in a broader sense, the influence of solar activity on other planets.

Keywords: cyclones, solar activity, electromagnetic force.

Прихваћено за објављивање на седници
Уређивачког одбора 19. новембра 2025. године