



UNIVERSITY OF
BUCHAREST
VIRTUTE ET SAPIENTIA



FACULTY OF PHYSICS

ȘCOALA DOCTORALĂ DE FIZICĂ

Către un cadru teoretic unificat a parametrizării convecției în atmosferă

Teză de doctorat

– Rezumat –

Cristian–Valer Vraciu

Conducător de doctorat: Prof. Dr. Virgil Băran

București, 2024

Rezumat

Ipotezele fundamentale ale formulării “flux de masă” funcționează în cel mai riguros sens numai dacă gridul modelelor numerice de vreme și climă este foarte mare și dacă rezoluția temporală este de cel puțin câteva ore. Deși pot fi făcute diferite relaxări a unora dintre ipotezele fundamentale, și întradevar astfel de relaxări au fost încercate încă de la formularea lui [Arakawa and Schubert \[1974\]](#), modelele numerice de prognoză a vremii și predicție climatică au încă limitări majore în reprezentarea convecției atmosferice. Un posibil motiv pentru acest neajuns ar putea fi faptul că unele dintre relaxări sunt incompatibile cu cadrul teoretic al formulării “flux de masă”.

Obiectivul acestei teze este de a introduce un nou cadru teoretic al convecției atmosferice, în care un nor (sau un spectru de nori) nu mai este văzut ca o singură pană convective staționară care interacționează cu un mediu omogen. Mai degrabă, în timpul duratei de viață a norului, mai multe elemente convective sunt permise să se dezvolte într-un nor, așa cum este considerat și de [Emanuel \[1991\]](#). Cu toate acestea, ca o distincție majoră față de parametrizarea lui Emanuel, curenții ascendenți sunt modelați ca staționari. Spre deosebire de formularea “flux de masă”, nu consider o imagine în care un curent ascendent este egal cu un nor convectiv, ci mai degrabă o imagine în care mai multe curenți ascendenți formează un singur nor. După cum se va vedea, în această imagine, memoria convectivă apare în mod natural și, astfel, scheme de parametrizare cu memorie convectivă care sunt capabile să ruleze la rezoluții temporale mari pot fi dezvoltate în acest cadru într-o manieră consecventă. Mai mult, convecția și norii convectivi sunt reprezentați într-o abordare unificată. Astfel, cadrul teoretic introdus aici oferă și un cadru pentru parametrizarea acoperirii norilor cumulus. În acest cadru, curenții ascendenți sunt priviți ca elemente convective fundamentale, tratarea teoretică a curenților ascendenți ca pene convective staționare putând fi considerată într-un mod mai direct decât în formularea “flux de masă”, deoarece în noul cadru, modelul penelor este folosit pentru curenții ascendenți în sine, ci nu pentru nori. Deși încă nu este clar dacă curentul ascendent poate fi privit strict ca o pană staționară, acesta este fundamental mai aproape de modelul de pană obținut în condiții ideale de laborator, decât norii în ansamblu. Astfel, teoria penelor turbulente poate fi folosită în acest cadru într-un mod mult mai simplu decât în formularea “flux de masă”, care ar putea fi un pas important în rezolvarea problemei antrenării. Mai mult decât atât, în cadrul prezentului cadru poate fi realizată o generalizare a modelului penei în pene nestaționare sau inele vortex, în timp ce în formularea “flux de masă” nu se poate face o asemenea generalizare.

Un alt avantaj major al noului cadru teoretic este că convecția uscată, superficială și adâncă pot fi reprezentate într-un mod unificat. Deoarece curentul ascendent este considerat aici elementul convectiv fundamental, care este elementul comun în toate tipurile de convecție, același tratament teoretic al curenților ascendenți se poate aplica fiecărui tip de convecție atmosferică. Deși există

scheme unificate [de ex. Suselj et al., 2019], ele încă consideră o imagine în care un curent ascendent este egal cu un nor convectiv, și o închidere *ad-hoc* pentru antrenare în funcție de precipitații este luată în considerare pentru a putea reprezenta tranziția de la convecția superficială spre cea adâncă. În cadrul actualului cadru unificat, o astfel de închidere *ad-hoc* nu este necesară. În plus, în această teză este derivată o generalizare a modelului plumei de antrenare, oferind o închidere fizică pentru antrenarea în curenții ascendenți.

În ceea ce privește zona gri la convecției, considerând curenții ascendenți ca agenții convectivi care necesită parametrizare, zona gri corespunde atunci doar cazurilor în care dimensiunea orizontală a unui singur curent ascendent nu poate fi considerată a fi mult mai mică decât dimensiunea orizontală a gridului numeric. Deoarece curenții ascendenți au de obicei dimensiuni orizontale de $O(100\text{ m})$, se poate considera că până și la rezoluția $O(1\text{ km})$ convecția este subgrilă. Astfel, ar putea fi de așteptat ca zona gri din cadrul teoretic actual să fie undeva între 100 m și 1 km. Cu toate acestea, pentru convecția adâncă, la o rezoluție de $O(1\text{ km})$, norii nu mai sunt subgrid și, prin urmare, norii trebuie lăsați să devină rezolvați de către modelul numeric chiar dacă elementele convective rămân complet subgrila. O astfel de dezvoltare nu este prezentată în această teză, dar o posibilă cale către o astfel de formulare este discutată la finalul tezei. Mai mult, în Secțiunea 4.4, este prezentată o soluție pentru zona gri, care ar putea permite simulări chiar și sub 1 km cu convecție parțial rezolvată.

Teza este organizată astfel: În capitolul 2 este prezentat modelul conceptual în noul cadru introdus de această teză. Modelul conceptual, ca în Emanuel [1991], se bazează pe dovezi empirice substanțiale care arată că pe perioada de viață a unui nor, se pot dezvolta mai multe elemente ascendente. După cum se va vedea, luarea în considerare explicită a acestui aspect ar putea duce la o reprezentare îmbunătățită a acoperirii norilor și a comportamentului convectiv tranzitoriu. În Capitolul 3, este introdus un model bazat pe legile de conservare a masei, momentului și energiei pentru curențele ascendente convective care generalizează modelului clasic de plume antrenante. O contribuție potențială foarte importantă la parametrizarea convecției atmosferice a acestui model de până generalizat este că închiderea antrenării nu mai este necesară, facilitând în același timp reprezentarea convecției uscate, superficiale și adânci într-un mod unificat. O formulare generalizată “flux de masă – difuzivitate turbionară” a convecției și turbulenței atmosferice este prezentată în Capitolul 4 al acestei teze, oferind un cadru mai generalizat pentru parametrizarea convecției și turbulenței atmosferice într-un mod unificat. Ca aspect important, această secțiune oferă, de asemenea, o derivare formală pentru acest tip de parameterizare, deoarece o astfel de derivare formală a lipsit în literatură. Teza se încheie cu concluzii generale finale și perspective pentru lucrările viitoare (Capitolul 5).

Lista de contribuții ale autorului

Articole științifice

- **C.V. Vraciu**, *Generalized eddy-diffusivity mass-flux formulation for the parameterization of atmospheric convection and turbulence*, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society **150**, 2316–2337 (2024), doi: [10.1002/QJ.4711](https://doi.org/10.1002/QJ.4711)
AIS = 2.079
IF = 8.9
- **C.V. Vraciu**, I.L. Kruse, J.O. Haerter, *The role of passive cloud volumes in the transition from shallow to deep atmospheric convection*, Geophysical Research Letters, **50**, e2023GL105996 (2023), doi: [10.1029/2023GL105996](https://doi.org/10.1029/2023GL105996)
AIS = 1.921
IF = 5.2
- **C.V. Vraciu**, *On the energy-consistent plume model in the convective boundary layer*, Dynamics of Atmospheres and Oceans **100**, 101330 (2022), doi: [10.1016/j.dynatmoce.2022.101330](https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2022.101330)
AIS = 0.506
IF = 1.7
- A. Marin, **C.V. Vraciu**[‡], *Why the turbulent buoyant plumes evolve to round cross sections? A ‘Constructal’ view*, International Communications in Heat and Mass Transfer **146**, 106947 (2023), doi: [10.1016/j.icheatmasstransfer.2023.106947](https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2023.106947)
AIS = 0.861
IF = 7
- **C.V. Vraciu**, J. Savre, M. Colin, *The rapid transition from shallow to precipitating convection as a predator–prey process*, Journal of Advances in Modeling Earth Systems, under review (2024)

Scoruri cumulate:

AIS = 5.367
IF = 22.8

Prezentări la conferințe internaționale

- **C.V. Vraciu**, J. Savre, M. Colin *Predator-prey characteristics of the rapid shallow-to-deep transition of atmospheric convection*, EGU General Assembly 2024, poster presentation.
- **C.V. Vraciu**, *The role of passive shallow cumuli in the transition from shallow to deep convection*, EGU General Assembly 2023, EGU23-3561, oral presentation.

[‡]autor corespondent.

- A. Marin, **C.V. Vraciu**, *On the organization of passive shallow cumulus clouds*, EGU General Assembly 2023, EGU23-5898, poster presentation.
- **C. Vraciu**, *On the parameterization of atmospheric convection with a realistic plume model*, EGU General Assembly 2022, EGU22-2876, oral presentation.
- **C.V. Vraciu**, *An alternative formulation for the parameterization of subgrid-scale convection suitable for the simulations at the convective gray zone*, ECMWF Annual Seminar 2022, poster presentation.

Bibliography

- A. Arakawa and W. H. Schubert. Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment, Part I. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 31(3):674–701, 1974.
- K. A. Emanuel. A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 48(21):2313–2329, 1991.
- K. Suselj, M. J. Kurowski, and J. Teixeira. A unified eddy-diffusivity/mass-flux approach for modeling atmospheric convection. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 76(8):2505–2537, 2019.