

Válasz Dr. Geresdi István bírálataira

Köszönöm a Bírálónak a dolgozatom alapos átolvasását, előremutató megjegyzéseit és kérdéseit, valamint pozitív véleményét.

A bírálat formai értékelése során jelzett észrevételeket elfogadom, és azokat igyekszem figyelembe venni a jövőbeni munkám során.

Az opponensi véleményben megfogalmazott kérdésekre a következőkben válaszolok, ahol a Bíráló kérdéseit, megjegyzéseit dőlt betűvel szedtem.

2. fejezet

A 12. oldal második bekezdésében a jelölt utal az aeroszol részecskéknek a sugárzásegyenlegre gyakorolt direkt hatásának fontosságára: „A Föld klímarendszerének megértésében a legnagyobb bizonytalanságot az aeroszokok és a napsugárzás légköri kölcsönhatását leíró modellek jelentik [37], amelyek különösen elnyelő részecskék esetén válnak bonyolulttá.” Ez a megállapítás kiterjeszthető az indirekt hatásra, ugyanis – ha lehet – még nagyobb a bizonytalanság az aeroszol részecskék közvetett, a felhőképződésre gyakorolt hatása esetében.

Mivel a disszertációm az aeroszokok optikai tulajdonságaival és azok mérés technikájával foglalkozik a tudományos előzmények leírásában is ennek hangsúlyozására törekedtem. Ezzel együtt elfogadom a Bíráló megjegyzését, hogy az aeroszokok indirekt hatása is számottevő az éghajlatváltozás előre jelzésének bizonytalanságában.

Mivel az abszorpció függ az anyag kémiai összetételétől, lehetségesnek tartja a jelölt, hogy az általa javasolt mérési eljárás segítségével a méret mellett az aeroszol részecskék higroszkóposágáról is kapjunk információt?

A higroszkópos aeroszol részecskék vízfelvétele magasabb relatív páratartalom esetén befolyásolja azok méretét, tömegét, kémiai összetételét és ennek változása miatt az optikai tulajdonságaikat is. Általánosságban elmondható, hogy a higroszkópos részecskék mérete és tömege növekszik, míg a törésmutatójuk valós és képzetes része is csökken a relatív páratartalom növekedésével. Mivel az általam javasolt mérési eljárás pont ezeknek a paramétereknek a mérését tűzte ki célul (méret, komplex törésmutató), elviekben lehetséges a higroszkóposságra, illetve annak változására is információkat kapni. A konkrét vizsgálatokhoz azonban célirányosan meg kell határozni a vizsgálandó méret és törésmutató tartományokat és modellszámításokkal feltérképezni ebben a tartományban a módszer felbontását és érzékenységet.

A koncentráció és a kémiai összetétel változása csak ritkán magyarázható egy okkal, rendszerint a meteorológia paraméterek és a forrás jellemzőinek együttes elemzése segíthet megtalálni az ok – okozati összefüggést. A vizsgált esetben a jelölt a szél irányának megváltozásával indokolja, hogy a külterületi állomáson az aeroszol részecskék koncentrációja és az abszorbeáló frakció nagysága ellentétesen változik (29. oldal). Ennek alátámasztására jó lett volna a szélesebb időbeli változását is ábrázolni. Ugyanis a megfigyelt jelenségnek van

alternatív magyarázata is. A közel 100%-os relatív páratartalom arra utal, hogy a 6. napon köd alakult ki. Ilyenkor a szélesebbesség rendszerint kicsi, és a határréteg csökkenő vastagsága a szennyező anyagok koncentrációjának növekedését eredményezi. Ezt a növekedést a mérések is igazolják. Az alacsony szélesebbesség miatt a lokális források nagyobb szerepet játszanak, így ebben az esetben a külterületre jellemző kisebb közúti forgalommal is magyarázható a BC csökkenése.

A forráselemzés egy igen aktuális és aktívan kutatott téma az aeroszoltudományon belül. A munkám célja elsősorban a mérési módszer fejlesztése és egyes alkalmazásainak bemutatása volt (új optikai módszerek kidolgozása a részecskék fizikai paramétereinek meghatározására, azok statisztikai elemzése, hibaforrásainak meghatározása), mellyel lehetővé válik azoknak a folyamatoknak az azonosítása, amelyekben az aeroszolok keletkeznek, például az égéstermékek és az ásványi por megkülönböztetése az abszorpciós tulajdonságaik alapján. A Bíráló által említettek befolyásolják a különböző források hatását. Úgy gondolom, hogy a két folyamat együttesen vezetett a mért állapot kialakulásához, mert a szélirány változása mellett valóban jelentősen mérséklődött a szélesebbesség is a jelzett időszakban.

3. fejezet

(i) A 37. oldal második bekezdésének elején olvashatjuk, hogy „Az újfajta gyógyszerhatóanyagok fejlesztésénél az egyik irány a szemcseméret lecsökkentése a nanométeres tartományba. Az aeroszolgyógyszerek esetében nanorészecskének az egy mikronnál kisebb részecskéket tekintik.” Ennek a kijelentésnek részben ellentmond a 3.1 ábra, a görbék alakja alapján a hatékony felszívódás szempontjából a 0,1 μm -nél kisebb, illetve az 1,0 μm -nél nagyobb méret lenne a kívánatos. A 0,1 – 1,0 μm mérettartományban gravitációs ülepedés hatása (3.2 egyenlet, jobb oldal második tag) már kicsi, a diffúzió hatása (3.2 egyenlet, jobb oldal első tag) még kicsi. Ha a 0,1 – 1,0 μm mérettartományban lévő aeroszolok mozgását akarjuk leírni, akkor figyelembe kell venni a hőmérséklet és nedvesség gradiens által meghatározott foretikus erőket is. Ezen erők hatása rendszerint kicsi, de elhanyagolása a kiülepedés alul becslését eredményezheti a 0,1 – 1,0 μm mérettartományban.

Az aeroszol gyógyszerek fejlesztése során a célterületi depozíciós hatások egy igen fontos tulajdonság, de egyéb szempontokat is figyelembe szoktak venni, ami növeli a célterületre jutó hatóanyag mennyiségét, és csökkenti az azon kívüli kiülepedést. A tüdő megbetegedéseinek kezelésére általában 1–5 μm méretű gyógyszerészecskéket használnak. A mélyebb tüdőrések eléréséhez viszont a szubmikronos méretű részecskék ideálisak, mivel azok kiülepedési hatások alacsony a célzott régióba való eljutásuk során és magas a célterületen, a kis perifériás tüdőstruktúrákban. Ezek mellett az alveoláris régióban a kiülepedés jelentősen növelhető a levegő hosszabb (5–10 másodperces) bent tartásával is, valamint ebben a mérettartományban a kisebb méret és ezáltal a nagyobb fajlagos felület fokozza a vízben nehezen oldódó gyógyszerek oldódási sebességét is.

Dolgozatomban a 3.2 egyenlet a légutakból kilépő részecskék koncentrációjának időbeli változását írja le a gravitációs ülepedést és a diffúziót figyelembe véve. Amennyiben a részecskék koncentrációjának változását a légutakban szeretnénk felírni, figyelembe kell

vennünk többek között a be és kilégzéshez tartozó légáramlásokat is, és a 3.2 egyenlet egy jóval bonyolultabb formát öltene, melyet numerikus módszerekkel szoktak megoldani.

(ii) A 3.2 egyenletben a teljes derivált szimbóluma helyett korrektebb lenne a parciális deriváltat használni. A parciális derivált fejezi ki azt, hogy lokális változások szerepelnek az egyenletben.

A 3.2 egyenletben valójában parciális deriváltakról van szó, csak az alkalmazott szimbólumok nem tükrözték ezt.

(iii) A 3.4 egyenlet alkalmazhatósága igazából nem a csepp méretétől függ, hanem az oldott részecske tömegétől (méretétől), valamint a túltelítettségétől is. Ugyanis a túltelítettség növekedésével (amikor az RH közel van a 100%-hoz) a közelítés egyre pontatlanabbá válik.

A felírt formulák jelentős egyszerűsítéseket tartalmaznak: célom annak szemléltetése volt csupán, hogy egy zárt helyiségben, ahol a légmozgások elhanyagolhatók, a részecskék átlagosan mennyi ideig tartózkodnak a levegőben és hogyan változik közben a méretük. Egy átlagos helyiségben ritkán éri el a levegő azt a magas relatív páratartalmat, mint például a tüdőben, ahol ez a hatás már számottevő lehet.

(iv) Az aeroszol részecskék kiülepedést jelentősen befolyásolhatja a levegő turbulenciájának mértéke. A turbulens diffúzió hatása a kiülepedésre nagyságrendekkel nagyobb lehet, mint a 3.2 egyenletben szereplő molekuláris diffúzió hatása. Van arra vonatkozóan adat, hogy a légző rendszer egyes elemeiben milyen Reynolds számmal jellemezhető az áramlás?

Az emberi légzőszerv egy komplex geometriájú rendszer, melyben az áramlás egészen a tracheáig turbulens. Innen lefele egy egyre szűkebb keresztmetszetű csőhálózatként írható le, melynek összkétszertmetszete növekszik, ahogy egyre lejjebb haladunk. A trachea alsóbb részétől vagy az azt követő generációktól az áramlás többnyire laminárisnak tekinthető, azonban komplex áramlási sebesség profil is kialakulhat. Mivel az áramlás nem állandó, hanem oszcilláló ezért az alacsony Reynolds számok mellett is kialakulhatnak turbulens áramlású régiók, amik jelentősen befolyásolhatják a részecskék lokális kiülepedését.

A légzőrendszer karakterisztikus méreteit és számait, a Reynold számokkal együtt mutatja például az alábbi táblázat:

Table 3.2

Characteristics of the respiratory tract of an average adult at about 75% total lung capacity (based on Weibel, 1991) and constant airflow with a tidal volume of 1,000 cm³ and an inspiratory duration of 2 seconds. The lung volume = 4,800 cm³. The kinematic viscosity of air at 37°C and 1 atm = 0.17 cm²/s.

Generation Number	Number of Airways per Generation	Airway Diameter	Airway Length	Total Cross Section	Average Airflow Velocity	Average Reynolds Number
z	$n(z)$	$d_i(z)$ (cm)	$l_i(z)$ (cm)	$A(z)$ (cm ²)	$u(z)$ (cm/sec)	Re
0	1	1.80	12.0	2.54	197	2084
1	2	1.22	4.76	2.33	215	1540
2	4	0.83	1.90	2.13	236	1151
3	8	0.56	0.76	2.00	251	827
4	16	0.45	1.27	2.48	202	533
5	32	0.35	1.07	3.11	161	331
6	64	0.28	0.90	3.96	126	208
7	128	0.23	0.76	5.10	98	133
8	256	0.186	0.64	6.95	72	79
9	512	0.154	0.54	9.56	52	47
10	1,024	0.130	0.46	13.4	37	28
11	2,048	0.109	0.39	19.6	26	16
12	4,096	0.095	0.33	28.8	17	9.7
13	8,192	0.082	0.27	44.5	11	5.4
14	16,384	0.074	0.16	69.4	7.2	3.1
15	32,768	0.050	0.133	117	4.3	1.3
16	65,536	0.049	0.112	225	2.2	0.64
17	131,072	0.040	0.093	300	1.7	0.39
18	262,144	0.038	0.083	543	0.92	0.21
19	524,288	0.036	0.070	978	0.51	0.11
20	1,048,576	0.034	0.070	1,740	0.29	0.057
21	2,097,152	0.031	0.070	2,730	0.18	0.033
22	4,194,304	0.029	0.067	5,070	0.099	0.017
23	8,388,608	0.025	0.075	7,530	0.066	0.010

[Weibel, E.R. (1991) Design of airways and blood vessels considered as branching trees. In: The lung: Scientific Foundations, Vol. 1, pp. 711-720. Raven Press, New York.]

4. fejezet

A 4.3.3. fejezet tartalmazza azokat az egyenleteket, amelyek segítségével a nano részecskék koncentrációjának időbeli változását határozta meg a jelölt. Az egyenletek viszonylag egyszerű alakja több, megindokolt egyszerűsítés következménye. Az alkalmazhatóság feltételét szerintem még ki kell egészíteni azzal, hogy a részecskék térbeli eloszlása homogén, azaz a koncentráció gradiens jó közelítéssel nulla.

Elfogadom a Bíráló megjegyzését, mivel vizsgálataink során a részecskék térbeli eloszlása homogén volt, azaz a koncentráció gradiens nem volt számottevő.

Továbbá, szerintem, fizikai jelentést tekintve ellentmondás van azon kijelentés miszerint „a koagulációs együtthatót konstansnak tételezzük fel” (74. oldal első sor) és a 4.5 egyenlet között. Ugyanis a méret szerinti eloszlás paraméterei (a 4.5 egyenletben szereplő D_g , σ_g) az

ütközések hatására – főleg nagy kezdeti koncentráció esetén – gyorsan változnak. A 4.9 ábra alapján a geometria szórás ugyan jó közelítéssel állandónak tekinthető, de a méret szerinti eloszlás mértani közepe több mint kétszeresére nő.

Az 1940-es évektől több kutatócsoport is kimutatta, hogy amennyiben a koagulációs folyamatban csak a koncentráció változására vagyunk kíváncsiak, akkor a koagulációs együttható polidiszperz aeroszol esetén is felírható az eloszlások átlagértékeinek segítségével, melynek egyik formáját mutatja a 4.5 egyenlet lognormál eloszlású kezdeti részecskepopulációra. [P. C. Reist, Introduction to aerosol science. Macmillan Pub. Co., 1984.]

Méréseim alapján a részecskepopuláció jó közelítéssel lognormál eloszlású volt, ezért alkalmaztam a 4.5 egyenletet a koagulációs együttható felírására.

Függnek-e a 4.1 egyenletben szereplő állandók az aeroszol részecskék anyagi minőségétől (pl. sűrűség, felszín tagoltsága, részecske hőmérséklete)?

A koagulációs együttható a környező levegő tulajdonságai (hőmérséklet, viszkozitás) mellett függ a részecskék tulajdonságaitól (méret, alak, felület, elektromos töltés és összetétel) is. A kiülepedési együttható is függ a részecskék méretétől.

Budapest, 2024. 02. 14.



Nagy Attila