

Rozhledy matematicko-fyzikální

Lubomír Sodomka

Kulový blesk – nevyřešený problém elektrodynamiky I

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 92 (2017), No. 4, 13–22

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/147008>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2017

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

Kulový blesk – nevyřešený problém elektrodynamiky I

Lubomír Sodomka, Adhesiv, TUL, Liberec

Abstract. The article deals with the unexplained phenomenon of ball lightning. As the luminous objects do not always originate from thunderstorm atmosphere, we distinguish direct and indirect ball lightning. The observations and research of the ball lightning offer many hypotheses of its qualitative explanation, but a hypothesis leading to quantitative theoretical framework has not been proposed.

Úvod

Příroda, věčný zdroj podivuhodných jevů, se postarala o nejrůznější překvapení od samého počátku vzniku Země s její atmosférou. Mezi některé z nich patří vznik blesků v atmosféře a jejich zvláštních útvarů, kterými jsou kulové blesky. S blesky se člověk setkával od samého počátku své existence. Jejich ničivé projevy doprovázené silným zvukem, hromem, vyvolávají strach v člověku a jemu blízkých tvorech. Existují teorie vzniku života, které přisuzují vznik organických molekul a pozdějšího života právě intenzivní činnosti blesků v raném stadiu vývoje Země. Strach z mocného působení blesků přisoudil vznik blesků nadpřirozeným bytostem, bohům. Připomeňme nejmocnější vládce bohů a hromů v řeckém a římském bájesloví, Dia a Jupitera.

Z historie víme, že se blesky zabývali nejprve Etruskové, kteří blesky popsali mezi prvními, později se blesky zabývali také staří Řekové a Římané. I když se řečtí filozofové ve svých dílech zabývají i blesky (Epikuros, Leukippos, Aristoteles), kulové blesky přímo neuvádějí. Jedině představa řeckého filozofa Poseidonia (135–51 př. n. l.) při třídění blesků jednomu z blesků přiřazuje název „kulový blesk“. Blesky popisují také další antičtí autoři, jako Titus Lucrecius Carus (O přírodě) a Plinius starší (Kapitoly o přírodě), kde jasný blesk má některé vlastnosti kulového blesku.

Jeden z přesvědčivých popisů kulového blesku pochází od Gregoria z Tours (sv. Řehoř) ze 6. stol. n. l. Objevení se kulového blesku považovali pozorovatelé za boží zázrak pro jeho řídký, neočekávaný a náhodný výskyt. Některé z kulových blesků byly ztotožňovány s Eliášovým

ohněm. Další zprávy o kulovém blesku pocházejí z roku 793 (Anglosaská kronika). Novověké zprávy o kulovém blesku pocházejí ze 16. století, kdy v den druhé svatby Jindřicha II. v roce 1553 se objevil v ložnici svatebčanů kulový blesk. Další zpráva o kulovém blesku je z roku 1749, kdy se kulový blesk objevil nad mořem v blízkosti anglické lodi Lizard.

První soustavná pozorování kulových blesků popsal v roce 1769 Muschenbroek a v roce 1838 Arago. Padesát případů kulových blesků popsal v roce 1872 C. Flammarion ve spise *Atmosféra*, 213 kulových blesků pak F. Sauter, profesor gymnázia v Ulmu. Kulovými blesky se zabýval také chemik S. Arrhenius (Nobelova cena za chemii 1903) ve své učebnici *Kosmická fyzika* z roku 1903. Z novějších publikací o blescích lze uvést publikace v SSSR I. S. Stěkolnikova [3] v knize *Zkoumání blesků a ochrana před nimi* (1955). Postupně se stávala existence kulových blesků prokázanou a začala se jimi zabývat fyzikální pracoviště. Velké množství publikací o kulovém blesku najdeme v časopise *Nature* v 70. a 80. letech. V roce 1980 vychází monografie J. D. Barrya *Kulový a perlový blesk – extrémní jev atmosférické elektřiny* [1].

Také česká literatura se může pochlubit monografiemi o kulovém blesku českých autorů L. Římánka a J. Postráneckého *Bouřky a ochrana před bleskem* (1957) [13], V. A. Petržílky [14] a I. Štolla [2].

Z dalších monografií o kulovém blesku lze ještě uvést [3]–[7]. Zásadní fyzikální články o kulovém blesku je možné hledat i ve fyzikálních časopisech jako *Physica Scripta*, *Physical Review*, *Journal of Physics D* a v sovětských monografiích a fyzikálních časopisech Akademie věd SSSR uvedených v [2].

Kulový blesk a jeho vlastnosti

Během pozorování zářících kulových útvarů v atmosféře byly zjištěny tyto skutečnosti vztahující se i na kulové blesky: jsou obvykle kulového tvaru o průměrech od 10 mm do jednoho metru, září světlem z celé viditelné spektrální oblasti, pohybují se poměrně malými rychlostmi od nulové rychlosti až po několik m/s, otáčejí se kolem své osy, procházejí stěnami, při dotyku se jeví někdy chladné, jindy roztavují stěny, klidně zanikají, jejich doba trvání se pohybuje od sekund po minuty, někdy dochází při jejich zániku k výbuchu, vykazují také oscilace, vytvářejí popáleniny těla, jejich výskyt je náhodný a řídký, lze je vytvořit i uhasit v mikrovlnné peci, objevují se i v letících letadlech, dokážou usmrtit člověka a vykazují i řadu dalších jevů.

Prozatím patří kulové blesky mezi ne zcela vysvětlené jevy, i když existují jak experimentální důkazy jejich existence, tak i celá řada teoretických modelů jejich výkladu.

V zemské atmosféře lze pozorovat vznik a zánik zářících kulových těles, z nichž ne všechny jsou kulové blesky. Podejme tedy zjednodušenou definici kulového blesku. Za kulový blesk považujeme světelně zářící prostorový útvar, vznikající v předbouřkové a bouřkové činnosti. Ve skutečnosti jde o fyzikálně obtížný výklad, neboť jde o jevy vyskytující se náhodně a neočekávaně s poměrně krátkou dobou trvání, takže jsou těžko dostupné k fyzikálním pozorováním a měřením, i když se již podařilo připravit kulové blesky v laboratořích vysokého napětí, kde se studují umělé blesky, a v laboratořích mikrovlnné fyziky.

Činitelé ovlivňující vznik kulového blesku

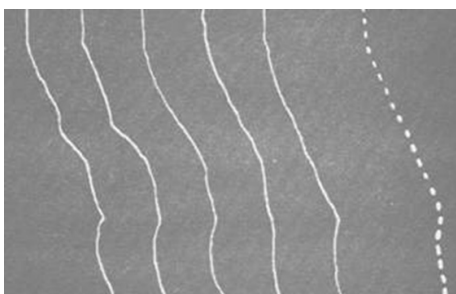
Hlavním činitelem a prostředím ovlivňujícím vytváření kulových blesků je zemská atmosféra. V ní existují gradienty fyzikálních veličin, které jsou příčinami nejrůznějších pohybů vytvářejících nejrůznější jevy. Sama atmosféra, která je nehomogenním prostředím, závisí na obsahu plynů, na jejich rozložení a na jejich pohybu. Nerovnoměrné rozložení teploty v atmosféře způsobuje proudění a v závislosti na rychlosti proudění plynů a par vznikají větry, vichřice, tajfuny, tornáda apod., které podle intenzity mohou být i velmi nebezpečné a ničivé. V atmosféře vznikají vlivem nerovnoměrného rozložení náboje silná elektrická pole zvláště v okolí ostrých výstupků a hrotů. Vlivem velkých rychlostí proudění vzniká v atmosféře turbulentní proudění s nelineární charakteristikou. Obdobně je tomu i v silných elektrických polích, které vytvářejí opět nelineární jevy ve vztazích proudu a napětí, při vznikajících výbojích, případně při průrazu atmosféry, projevující se bleskem. Ke vzniku blesku je třeba vysokého napětí projevujícího se průrazem atmosféry. Elektrické jevy v atmosféře závisí na složení atmosféry, zvláště na její vlhkosti, na její teplotě, na tlaku, jejím proudění apod. Z tohoto hlediska je zřejmé, že vznik kulového blesku je závislý na vzniku, intenzitě a rozvoji čárového, případně perlového blesku. Příklad struktury čárového blesku je na obr. 1a a přechod čárového blesku v blesk perlový je na obr. 1b.

Nejběžnějšími blesky jsou blesky čárové, následované blesky perlovými a nejméně časté jsou blesky kulové. I když za rok proběhne na Zemi velké množství blesků, připadá na jeden čtverečný kilometr v průměru jeden blesk ročně, takže lze usoudit na nízkou četnost kulových blesků. Poněvadž bylo zjištěno, že na 200 až 300 čárových blesků při-

padá jeden blesk kulový, lze z toho vyvodit, že na jednom čtverečném kilometru spatříme kulový blesk za 200 až 300 let. Pozorováním bylo zjištěno, že počet kulových blesků rostl ve 20. století a nejvíce jich bylo pozorováno v období mezi lety 1970 až 1975, a to 255. Nejčetnější výskyt kulových blesků je v letních měsících (83 %), kdy je bouřková činnost nejintenzivnější, nejméně je výskyt kulových blesků o průměru mezi 100 až 200 mm (30 %), barvy bílé (26 %) a doby trvání od 1 s do 50 s (55 %).



Obr. 1a: Běžný čárový blesk, zesílené světlo představuje kanál vysoké intenzity elektrického pole



Obr. 1b: Přejít od čárového blesku v blesk perlový v pravé části obrázku

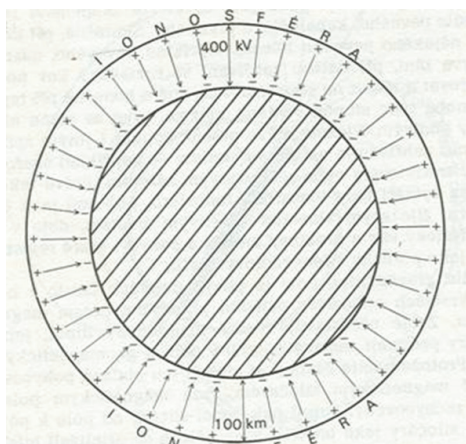
Zatím nejrozšířenější výklad vzniku blesku jde přes atmosférickou elektrinu. Ta má blízko k elektrostatice, jejíž zákonitosti se využívají v atmosférické elektrině již od samého počátku vědecky podložené elektrostatiky od 17. století. Připomeňme ještě výzkumníky a vědce, kteří se zabývali otázkami blesků v 18. století, a to V. P. Diviše (1696–1765),

B. Franklina (1706–1790), M. V. Lomonosova (1711–1765) a G. V. Richmanna (1711–1753), kteří se zasloužili o vynálezy bleskosvodů. Poslední z nich zaplatil výzkum blesků i svým životem [15].

Každý se v běžném životě setkává s takovými jevy v atmosféře, jako jsou bouřky, hromy a blesky, a je výhodné seznámit se alespoň s hrubými poznatky kolem těchto jevů, z nichž mnohé nejsou ještě zdaleka fyzikálně a teoreticky dostatečně zvládnuty. Vzhledem k intenzivní bouřkové činnosti, která činí kolem 40 000 bouřek denně, je velmi pravděpodobné setkání každého jedince s bouřkou ve volném terénu. Většina budov je dnes chráněna proti ničivým účinkům blesků bleskosvody (hromosvody). Jsou to hrotovité tyče na konci někdy pozlacené, čnějící nad střechami domů, věží a nad sloupy. Silná elektrická pole (vysoké hustoty nábojů) kolem hrotů svedou náboj bouřkových mraků do země – tím ochrání příslušnou stavbu – a neustále dobíjejí zemský povrch „zápornou elektřinou“ (elektrony).

Země jako kulový kondenzátor

Za slunečného a klidného počasí lze v hrubých rysech považovat elektrické děje v zemské atmosféře za děje probíhající v kulovém kondenzátoru. Jeho zápornou elektrodu tvoří povrch Země, kladnou elektrodou je pak kulová plocha, vytvořená v místech vodivé části atmosféry, která se nachází ve výšce kolem 12 km nad zemí (obr. 2). Tato kulová plocha je nabitá kladně.



Obr. 2: Elektrická atmosféra Země jako kulový kondenzátor

Dielektrikum kondenzátoru tvoří vzduch. Elektrické napětí na takovémto kondenzátoru nepřevyšuje 400 kV. Vzduch tohoto kondenzátoru není dokonalým dielektrikem, ale je částečně i vodivý. Jeho měrná elektrická vodivost je v rozmezí 0 až 10^{-5} S/m. Při povrchu Země je asi $3 \cdot 10^{-14}$ S/m. S rostoucí výškou měrná elektrická vodivost vzduchu roste a dosahuje např. hodnoty $4 \cdot 10^{-9}$ S/m ve výšce 70 km nad Zemí. Ve vyšších vrstvách zemské atmosféry nad 70 km měrná elektrická vodivost dále roste až do hodnoty 10^{-5} S/m.

Vytváření vysokých hodnot nábojů

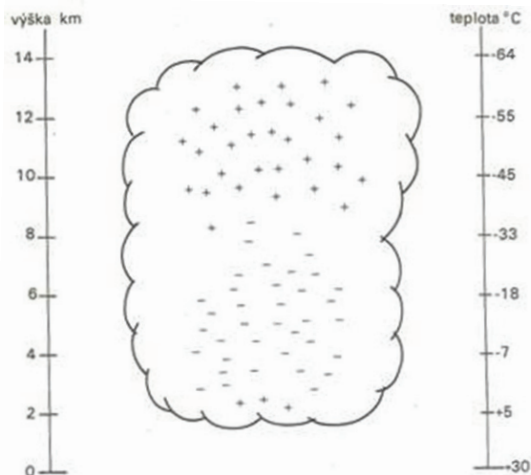
Záporný náboj povrchu Země dosahuje hodnoty $6 \cdot 10^5$ C, což je náboj $4 \cdot 10^{24}$ elektronů. Vodivost vzduchu by vedla k tomu, že během půlhodiny by elektrické pole zaniklo. Poněvadž elektrické pole se nemění, musí působit mechanismy jeho neustálého udržování. To se vysvětluje Wilsonovou teorií elektrického protiproudu. Tento proud je vytvořen jako výsledný proud všech bouřek probíhajících v atmosféře. Celkový proud Země při krásném počasí činí přibližně 1 kA. Tak se vytváří jakýsi proudový generátor, jehož póly jsou ve výšce 3 až 7 km na napětí přibližně 1 MV. V atmosférickém generátoru se skládají tři typy proudů, a to proud vodních srážek, proud blesků a kolmý bouřkový proud, což dává celkový zmíněný proud přibližně 1 kA. Zemská atmosféra je tedy i obnovitelným zdrojem elektrické energie. Řešení k jeho využití však není jednoduché, využít atmosférické elektřiny se přes značné vyvíjené úsilí výzkumu dosud nepodařilo, takže jde o otevřený problém. Podobně otevřený problém je i termojaderná energetika. Vyřešení čeká na příští generace. Nebo jde o problém neřešitelný?

Bouřky

K správné funkci bouřkového generátoru musí mít generátor rovněž správnou polaritu napětí. Bouřkové mraky mají svou vrchní část převážně kladnou a spodní část zápornou. Přímá měření elektrického pole průletem letadel nebo raket bouřkovým mrakem tento předpoklad potvrdila. V nízké části atmosféry je celkový náboj mraků asi 5 C, ve výšce 3 km je asi -20 C a ve výšce 3 až 7 km asi $+25$ C.

K vytvoření bouřky dochází za různých meteorologických podmínek. Podle nich rozeznáváme bouřky tepelné a bouřky frontové. Tepelné bouřky vznikají za horkých dní, kdy silně vyhřátý vzduch stoupá směrem vzhůru vzduchovým komínem rychlostí 30 m/s a třením vrstev vzduchu

o sebe dochází k oddělení nábojů, záporného vytvořeného tokem elektronů směřujícího k zemi a kladného stoupajícího směrem vzhůru. Tak dochází k nabití mraku a nad určitým napětím k průrazu vzduchu a vytvoření blesku. Mrak je nabit většinou kladně směrem od povrchu Země (obr. 3).



Obr. 3: Rozložení náboje v mraku v závislosti na výšce v km a teplotě v °C

Frontové bouřky vznikají v případě, že při vhodných meteorologických podmínkách se klín studeného vzduchu vsune pod vrstvu vzduchu teplého. Bouřková fronta pak postupuje s pohybem studeného vzduchu.

Blesky

Blesky představují svítící krátkodobý výboj (10^{-2} – 10^{-4} s) v atmosféře. Blesku musí předcházet vytváření silného napětí mezi mraky nebo mezi zemí a mraky a oddělování nábojů, které může probíhat nejrůznějšími mechanismy. Jak již bylo uvedeno, blesky rozeznáváme čárové, perlové (obr. 1a, b) a kulové (obr. 4). Ty mají přibližně tvar koule a pohybují se ve vzduchu jako vzduchová bublina ve vodě nahoru, dolů a do stran. Odrážejí se od stěn, zanikají neslyšně nebo i s výbuchem.

Současný výklad čárových blesků se již blíží skutečnosti, na výkladu kulových blesků se však stále pracuje, o čemž svědčí rozsáhlá literatura, např. [17]. K výkladu kulového blesku nacházíme v literatuře nejrůznější názory, od chemických reakcí mezi dusíkem a kyslíkem, po výklady

výbojového, plazmatického, mikrovlnného, laserového, supravodivého či jaderného mechanismu.

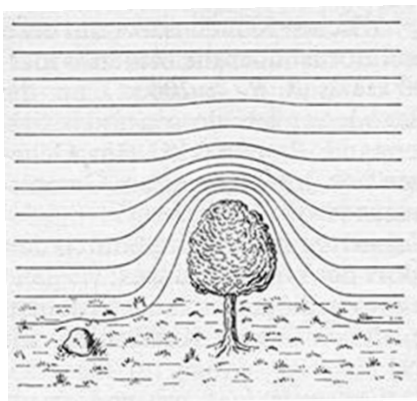


Obr. 4: Kulový blesk

Ochrana proti bleskům ve volném prostoru

Jak již bylo ukázáno v předchozím textu, četnost blesků v atmosféře je poměrně velká, takže se lze s bleskem setkat ve volném prostoru, zvláště pak v přírodě. I když není známa ještě dokonale teorie blesku, základní fyzikální poznatky postačí k ochraně proti bleskům.

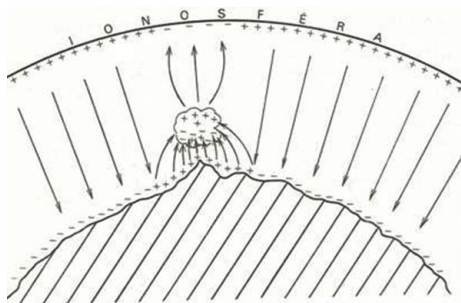
Kolem Země je vytvořené elektrostatické pole, které lze popsat fyzikou kulového kondenzátoru. Pro nepříliš velké vzdálenosti jde pak o kondenzátor rovinný, ve kterém se při náboji na elektrodách vytvoří uvnitř homogenní elektrostatické pole s rovinnými rovnoběžnými hladinami potenciálu (obr. 5).



Obr. 5: Hladiny potenciálu atmosférického elektrického pole v přítomnosti výstupku

Z obr. 5 lze také vypočítat, že v přítomnosti výstupku zemského povrchu, jako jsou stromy, věže, stožáry apod., dochází k vytváření nehomogenního pole, jehož napěťový gradient, kde se soustřeďuje také velká hustota náboje, je schopný přitáhnout náboj blesku do tohoto místa. Proto je třeba v silné bouřce zalehnout na zem zvláště do prohlubní ve větší vzdálenosti od vysokých stromů, věží a sloupů. I když se přitom nevyhneme dešti, pravděpodobně si zachráníme život. Z historie jsou známé případy, kdy bouřka zahubila kopiníky vojska nesoucí vztyčená kopí.

U hrotových útvarů je elektrické pole tak silné a s takovou hustotou elektrického náboje, že z něho vystupují náboje s vysokou rychlostí a kolem hrotu pozorujeme Eliášův oheň. Makromechanismus vzniku blesků v nehomogenním elektrickém poli znázorňuje obr. 6.



Obr. 6: Mechanismus vzniku blesku v nehomogenním poli mezi mrakem a povrchem Země

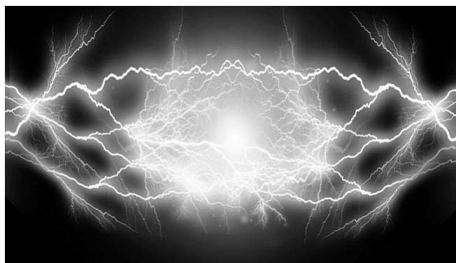
Kulový blesk může tahem vzduchu vniknout např. komínem či otevřeným oknem do uzavřené místnosti a v ní se pohybovat. Je vhodné se před ním uchýlit za překážku, a pokud je to možné, rychle otevřít okno.

Před bouřkou je vhodné vypnout elektrické spotřebiče, případně pojistky. V blízkosti blesku vzniká také silný akustický projev, hrom. Vzdálenost bouřky můžeme odhadnout podle časového intervalu mezi zábleskem a hromem. Násobíme-li počet zjištěných sekund mezi bleskem a hromem přibližnou hodnotou rychlosti zvuku 330 m/s, dostaneme odhad vzdálenosti bouřky od našeho místa pozorování v metrech.

Je zajímavé, že vznik života se v některých teoriích přisuzuje právě působení bouřkové činnosti, která byla v počátcích vývoje Země intenzivnější. Snad se tuto teorii podaří potvrdit, nebo vyvrátit i laboratorně.

Literatura

- [1] Barry, J. D.: *Ball Lightning and Bead Lightning – Extrem Forms of Atmospheric Electricity*. Plenum Press, New York, 1980.
- [2] Štoll, I.: *Tajemství kulového blesku*. Horizont, Praha, 1988.
- [3] Singer, S.: *The Nature of Ball Lightning*. Plenum Press, New York, 1971.
- [4] Stenhoff, M.: *Ball Lightning – An Unsolved Problem in Atmospheric Physics*. Plenum Press, New York, 1996.
- [5] Stěkolnikov, I. S.: *Izučenie molnij i grozozaštita*. Nauka, Moskva, 1955.
- [6] Stachanov, I. P.: *Fizičeskaja priroda šarovoj molniji*. Atomizdat, Moskva, 1979.
- [7] Smirnov, B. M.: *Problema šarovoj molniji*. Nauka, Moskva, 1987.
- [8] Sodomka, L.: *Základy fyziky pro aplikace*. Adhesiv, Liberec, 2005, na CD.
- [9] Carbognani, A.: Il mistero dei fulmini globulari. *Scienza & Paranormale*, roč. 20 (1998), s. 46–57.
- [10] Rener, P., et al.: *Kleine Enzyklopädie Physik*. VEB Bibliographisches Institut, Leipzig, 1985.
- [11] Grimsehl, E., et al.: *Lehrbuch der Physik, Band 2 Elektrizität, Band 4 Struktur der Materie*. Teubner, Leipzig, 1985.
- [12] Feynman, R. P., et al.: *Feynmanovy přednášky z fyziky 1, 2 (s řešenými příklady)*. Fragment, Praha, 2001, 2002.
- [13] Řihánek, L., Postránecký, J.: *Bouřky a ochrana před bleskem*. ČSAV, Praha, 1957.
- [14] Petržílka, V. A.: Kulový blesk. *Čs. čas. fyz.*, roč. 14 (1964), s. 542–551.
- [15] Malíšek, V.: *Co víte o dějinách fyziky?* Horizont, Praha, 1986.
- [16] Gladyshev, G. P.: *The high-temperature physicochemical processes in the lightning storm atmosphere*.
<http://www.endeav.org/evolut/text/ball/ball.html>
- [17] Rener, P., et al.: *Kleine Enzyklopädie, Physik*. VEB Bibliographisches Institut, Leipzig, 1985.



Kulový blesk (zdroj: <http://www.national-geographic.cz/clanky/kulovy-blesk-prichycen-inflagranti.html>)