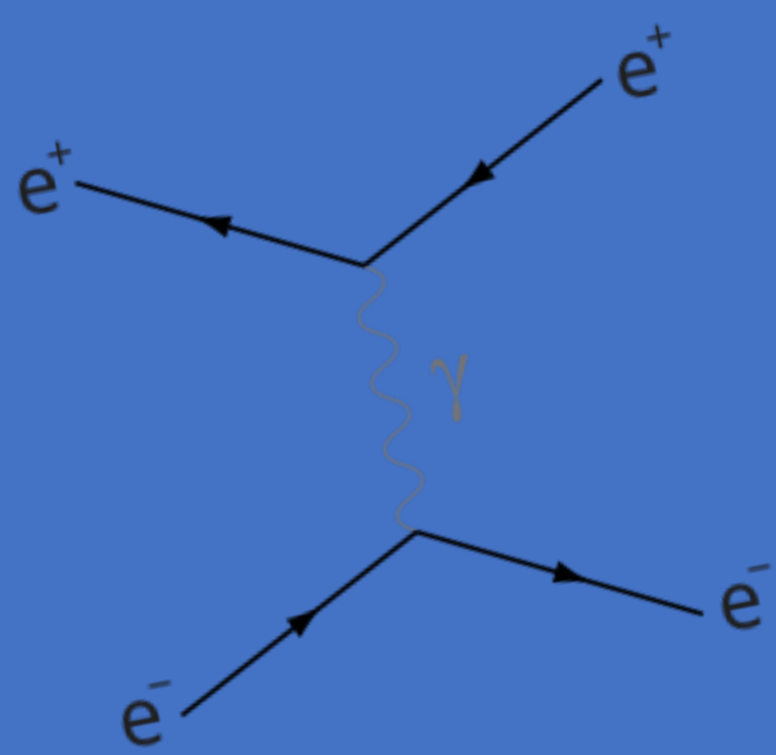




Jak přeměnit světlo na hmotu?

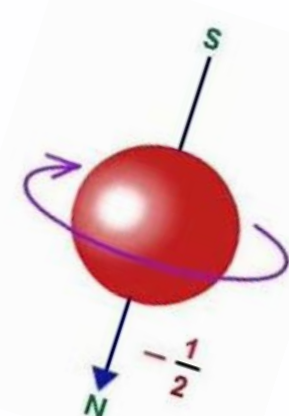
J. Bursová, Š. Černá, A. Väterová, H. Zemanová

Týden vědy; FJFI ČVUT



Abstrakt

Práce se zabývá zefektivněním teoretické tvorby hmoty a antihmoty formou snížení potřebné síly využitého pole. Zabývá se porovnáním lineární a radiální polarizací užitého laseru. Závěrem je, že při použití radiální polarizace se generuje výrazně větší množství částicových párů.



Úvod

V roce 1928 P. Dirac předpověděl existenci pozitronů a tedy i antihmoty, která se později potvrdila^[1]. Díky tomu a rozvoji kvantové fyziky se roku 1951 podařila definovat teorie Schwingerova limitního pole, která znamená teoretickou možnost výroby hmoty a antihmoty za silného pole ve vakuu^[2].

V dnešní době jsou obecně zdroji nejsilnějšího pole jednoznačně lasery. Nejsilnější zkonstruovaný laser dosáhl intenzity pole 10^{23} W/cm^2 , což je o šest řádů méně než je pro Schwingerovo limitní pole potřeba^[3].

V současné době nejsme schopni dostatečně silné pole vytvořit, avšak tato podmínka se dá, jak popisuje Breit-Wheelerův proces, obejít. Tento proces spočívá v upravení podmínek za kterých experiment probíhá - přidání několika málo částic před započnutím procesu^[4]. Na základě této teorie byl v roce 1997 ve Stanfordu proveden dosud jediný úspěšný pokus. Při něm bylo za pomoci laseru a urychlovače částic vytvořeno několik nových částic^[5].

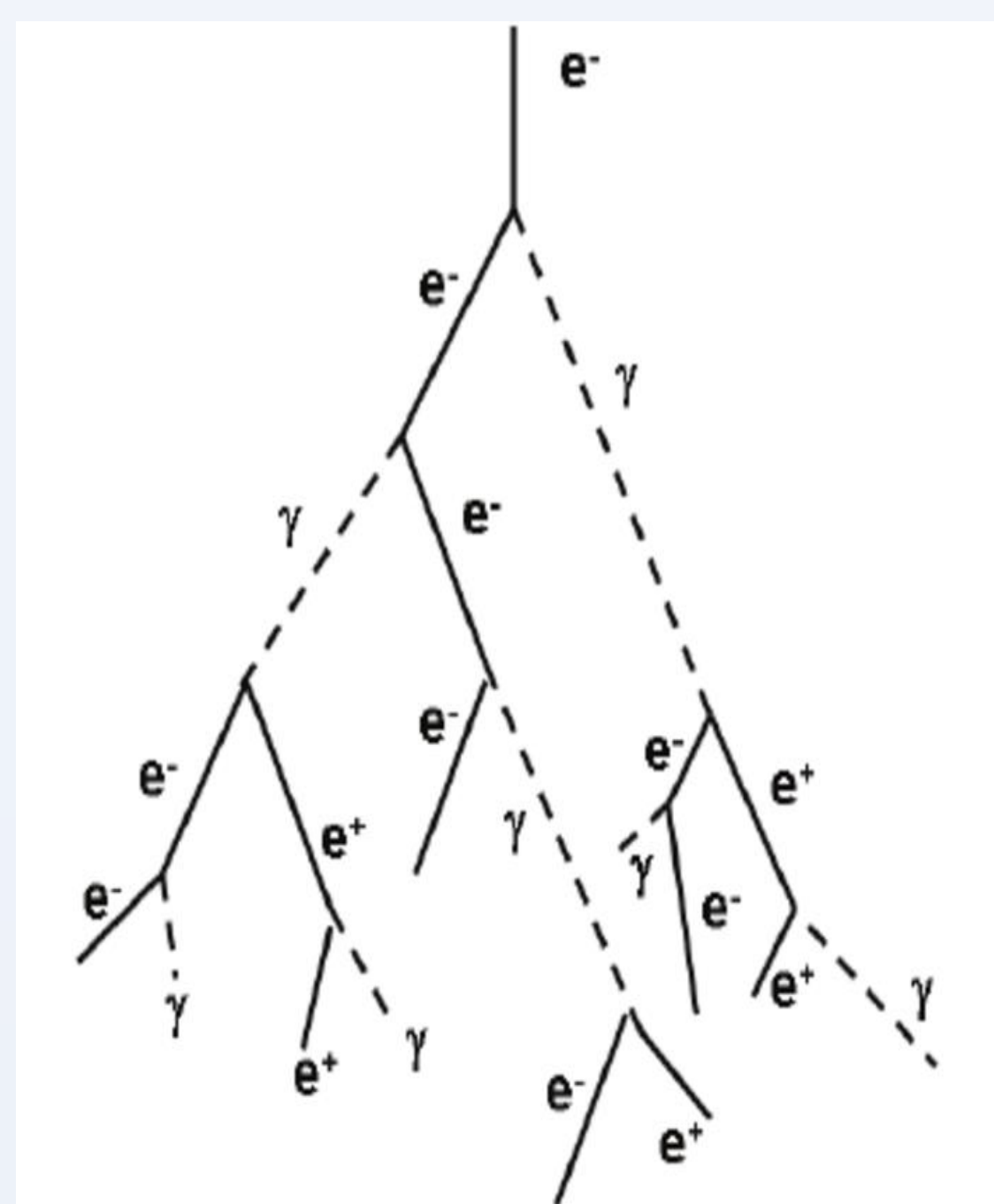
Kaskády elektron-positronových párů

Cílem je vytvořit kaskádu – tvorbu nových částic a antičástic lavinovou reakcí

Radiální polarizace – el. pole kmitá ve směru šíření elektromagnetické vlny

Lineární polarizace – kmitá kolmo na směr šíření

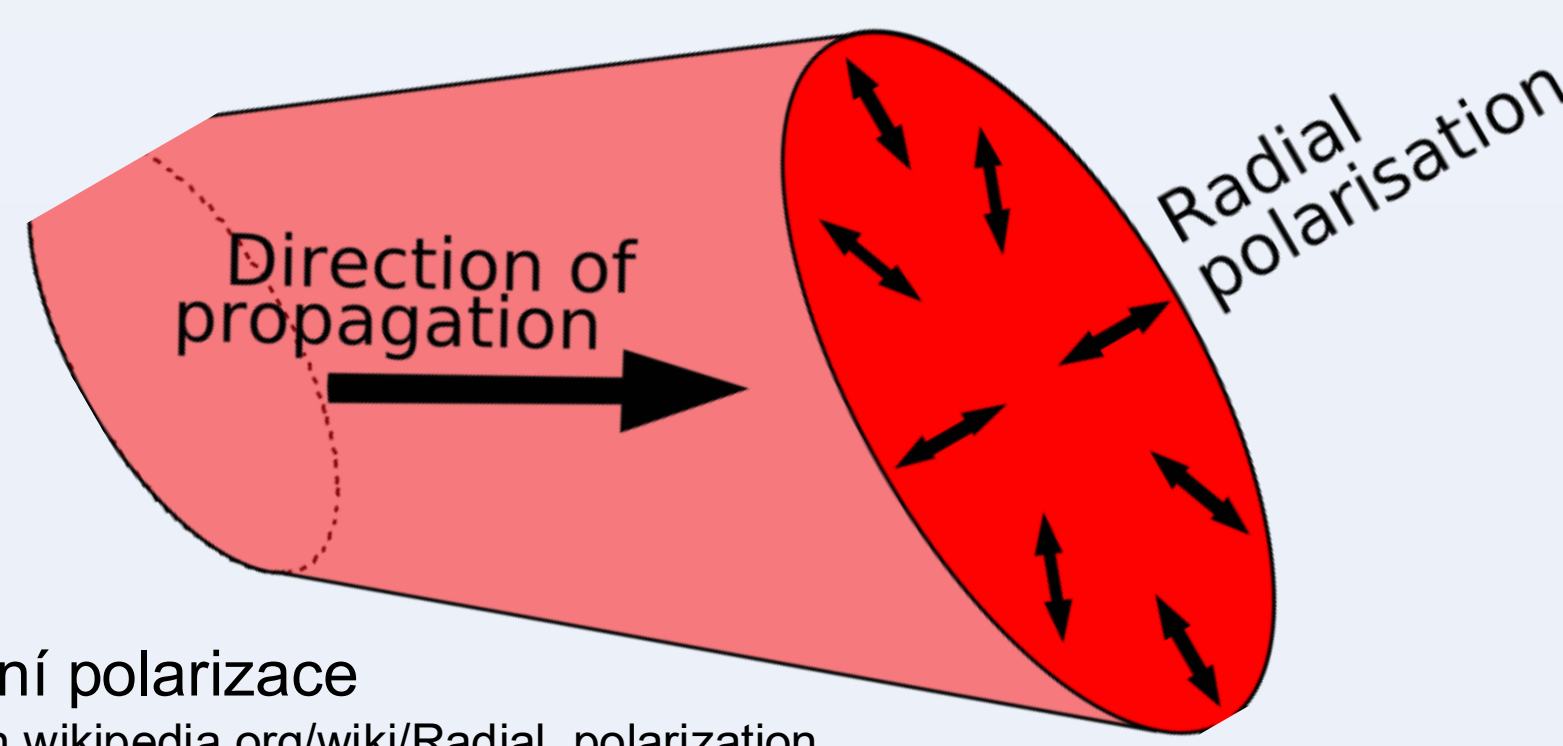
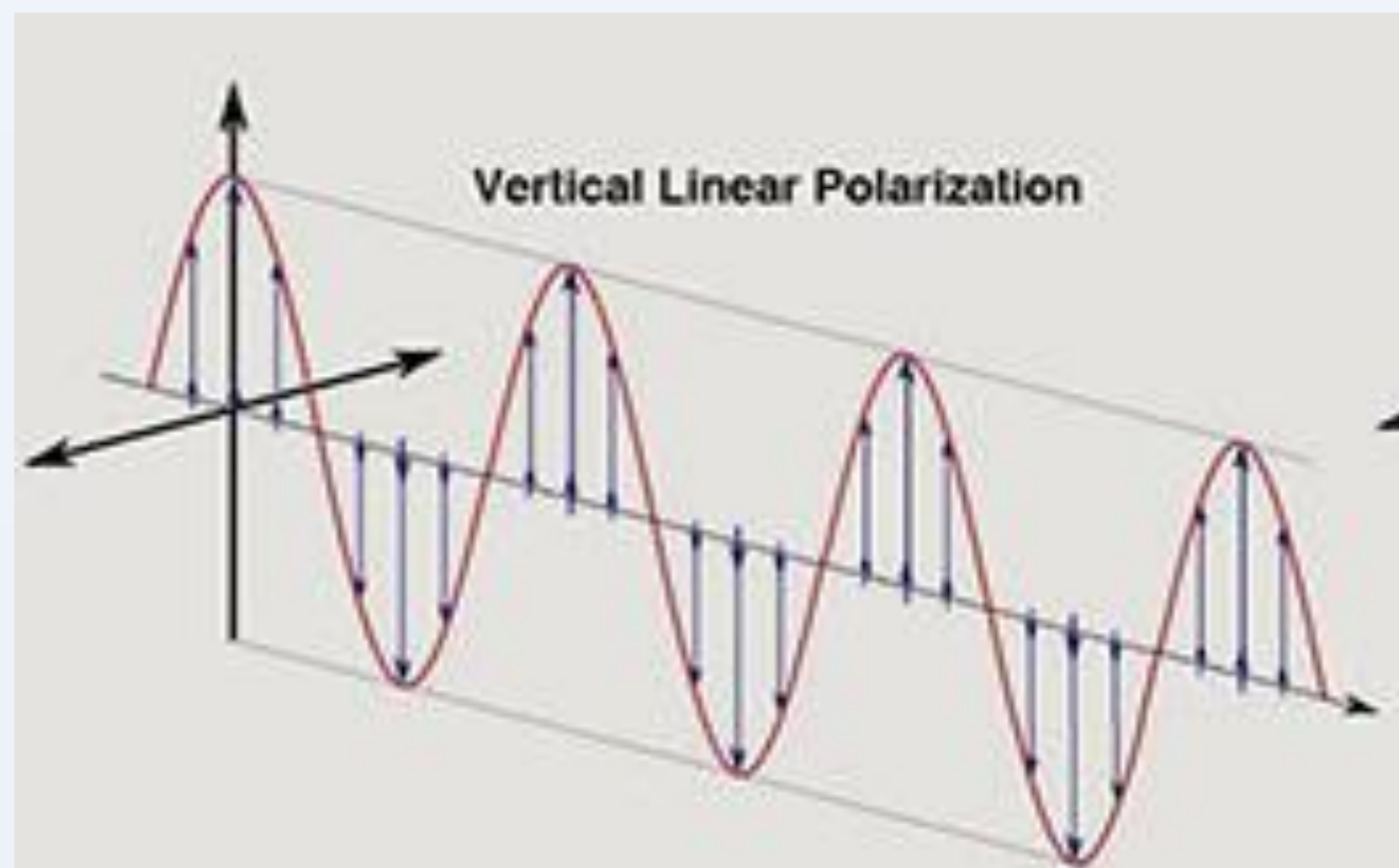
Hlavním problémem tvorby kaskády je síla F elektrického pole E působící na elektron (a jeho náboj $-e$) při různých polarizacích. Jelikož má elektron záporný náboj, je touto silou odpuzován z oblasti silnějšího pole.



Kaskáda
La Rocca, "The Use of Avalanche Photodiodes in High Energy Electromagnetic Calorimetry", Advances in Photodiodes, 251 (2011)

$$\mathbf{F} = \mathbf{E} * (-e)$$

Lineární polarizace, <https://i.sstatic.net/fpS3m.png>

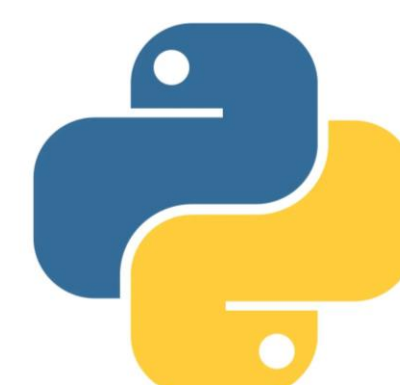


Radiální polarizace
https://en.wikipedia.org/wiki/Radial_polarization

Metoda

Kvůli vysoké, člověka přetěžující komplexnosti několika matematicky složitých výpočtů jsme užili známý numerický simulační program Smilei^[7]. Výpočet byl poté proveden na superpočítači tvořeném několika propojenými zařízeními národní sítě infrastruktury MetaCentrum^[8]. Celkem jsme nechali vypočítat dvanáct úloh, přičemž výpočet každé z nich trval přibližně dvacet minut a pro každou bylo využito až 512 CPU. Následně jsme výsledky zpracovali ve světově používaném programovacím jazyku Python.

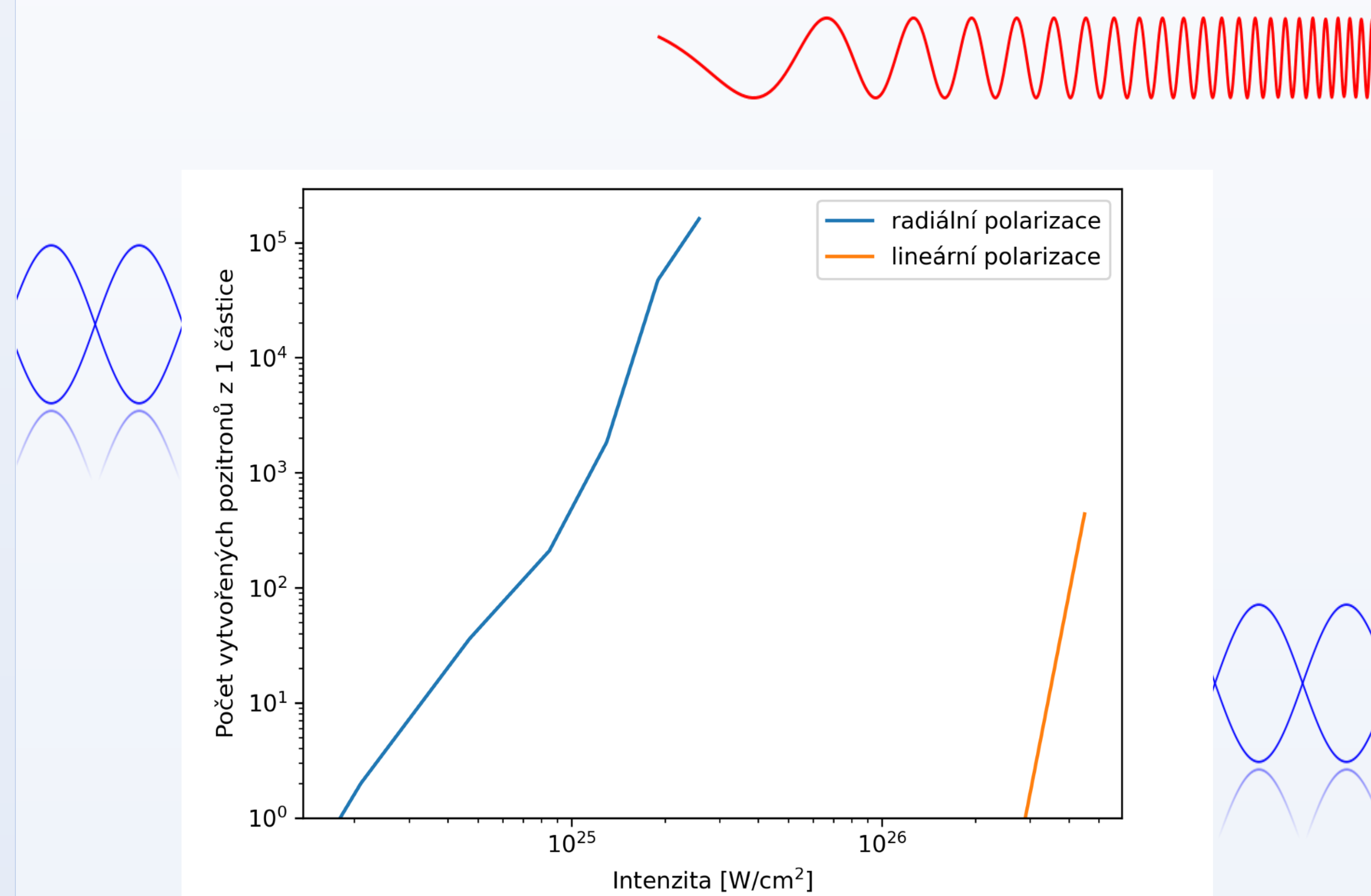
Smilei)



cesnet
metacentrum

Výsledky, diskuse

Vzhledem k exponenciální povaze křivky závislosti počtu vytvořených částic na intenzitě pole je radiální polarizace pro tvorbu částic výrazně účinnější než polarizace lineární. Další zásadní odlišností povah pozorovaných polarizací je potřebná intenzita k rozběhnutí kaskády. V případě lineární polarizace je k tomu potřebná intenzita mnohem větší.



Graf závislosti počtu vytvořených částic na intenzitě

Shrnutí

Výsledkem naší práce je graf, který ukazuje větší účinnost radiální polarizace nad lineárně orientovanou. To z toho důvodu, že radiální polarizace udržuje elektron uvnitř elektrického pole, zůstane oscilovat na přímce a „neuteče“. Je patrné, že pro přípravu hmoty a antihmoty je využití radiální polarizace efektivnější ku potřebné intenzitě pole.

Reference

1. Dirac, The Quantum Theory of the Electron. Proceedings of the Royal Society A, 117, 778. (1928)
2. Schwinger, "On Gauge Invariance and Vacuum Polarization". Phys. Rev. 82, 5 (1951)
3. Yoon et al. "Realization of laser intensity over 10^{23} W/cm^2 ", Optica 8, 630-635 (2021)
4. Breit and Wheeler, "Collision of Two Light Quanta," Phys. Rev. 46, 1087 (1934)
5. Burke et al., "Positron Production in Multiphoton Light-by-Light Scattering," Phys. Rev. Lett. 79, 1626 (1997)
6. La Rocca, "The Use of Avalanche Photodiodes in High Energy Electromagnetic Calorimetry", Advances in Photodiodes, 251 (2011)
7. SMILEI: <https://smileipic.github.io/Smilei/>
8. MetaCentrum: <https://metavo.metacentrum.cz/>