



Středoškolská technika 2015

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

ANTIHMOTA V KLADENSKU

Ondřej Hlinomaz, Jiří Hájek

Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Kladno
Jana Palacha 1840
272 01 KLADNO

Obsah

Úvod	2
Charakteristika projektu.....	2
Antihmota a energetika.....	3
Antihmota a doprava.....	4
Antihmota a zdravotnictví.....	5
Mínění o antihmotě na Kladensku	6
Závěr	8
Obrazová příloha	9
Poděkování	10
Použitá literatura.....	11

Úvod

Toto téma jsme zvolili nejen proto, že je zajímavé a mnoho lidí neví, co je antihmota zač, ale i kvůli svému potenciálu. Nevíme totiž mnoho věcí ohledně antihmoty, například zdali je antihmota antigravitační. Potenciál v antihmotě je obrovský a naše zdroje nejsou nevyčerpatelné. Když jsme se trochu více soustředili na její průzkum a vývoj, zvětšila by se šance, že atomové elektrárny se svým radioaktivním odpadem nahradíme čisté ekologické antihmotové elektrárny. V současné době bychom měli uvažovat co nejvíce ekologicky, jelikož jsme naši planetě ublížili více než dost. A každá škoda naší přírodě je téměř nevratná v současné době, protože čím více ubližujeme přírodě, tím ubližujeme sami sobě. Dobré sice je, že někteří lidé si toto uvědomují, avšak lze dojít k závěru, že neděláme dost. Daří se nám oddalovat den, kdy si přeměníme naši planetu na skládku, ale oddalovat nelze věčně.

Charakteristika projektu

Cílem projektu je nahlédnutí do oblasti částicové fyziky zabývající se antihmotou, jejím využitím v energetice, ve zdravotnictví a v dopravě. Práce je založena jak na důkazech užitých technologií, tak na hypotézách podložených některými výzkumy a i na úvahách opřených o technologický vývoj.

O existenci antihmoty se uvažovalo poměrně dlouho, jelikož klasická fyzika, neumožňovala vysvětlit např.: jaké jsou dovolené hladiny a co se děje s elektronem během přeskočení. V roce 1924 mladý francouzský fyzik Louis de Broglie předložil vědeckému světu odvážnou hypotézu, že má každá elementární částice vlnovou i korpuskulární povahu. Načež v letech 1926 Erwin Schrödinger formuloval vlnové rovnice, které se staly základním kamenem moderní fyziky. Schrödinger se snažil řešit problém energetických hladin elektronu což ho vedlo k odhalení dosud neznámé vlastnosti elektronu a to, že vedle příslušného orbitálního momentu musí mít elektron ještě vlastní moment hybnosti, nazvaný „spin“. Správné relativistické rovnice pro pohyb elektronu objevil Paul Dirac. Při práci s rovnicemi se Dirac dostal k řešení, kdy jedna vlnová funkce odpovídá kladné hodnotě, druhá záporné hodnotě celkové energie elektronu. Dirac začal pátrat po příčinách tohoto pozoruhodného jevu, což ho nakonec dovedlo k neočekávanému závěru. Dirac předestřel teorii, že záporné řešení jeho rovnic se nevztahuje k elektronu, ale k jiné částici. Podle něj má tato částice sice opačný náboj (tedy kladný), ale její další hodnoty (hmota, spin, hybnost) jsou s elektronem naprosto totožné. Tuto zpočátku nedůvěryhodnou teorii experimentálně potvrdil v roce 1932 americký fyzik Carlem Andersonem. Ten ve fotografických emulzích ozářených kosmickými paprsky objevil dráhy potvrzující existenci elektronu s kladným nábojem, který nazval pozitronem. Další antičástice s označením antiproton a antineutron byly objeveny v letech 1955 a 1956 v synchrotronu Bevatron v kalifornské vládní laboratoři Lawrence Berkele. V roce 1965 byl vytvořen antideuteron v Národní laboratoři v Brookhavenu a v roce 1995 bylo v CERNu detekováno antihélium, které mělo životnost 30 miliardtin sekundy. V minulém roce bylo v CERNu potvrzeno nalezení Higgsova bosonu [1] který hraje klíčovou roli ve vysvětlení původu hmotnosti ostatních elementárních částic, zejména rozdílu mezi nehmotným fotonem a velmi těžkými bosony.

Antihmota a energetika

Položme si otázku, jak se dá antihmota využít v energetice? Na internetu se dozvíme, že odpověď není vůbec snadná, lze se totiž do ní snadno zamotat. Rozdělme si ji na dva jednoduché proudy, dvě poloviny, podle smýšlení vědců a to na ty, kteří jsou proti a ty, kteří jsou pro.

Část vědecké obce je názoru (První polovina vědců tvrdí), že ji nelze využít. Důvodem? Způsob, jakým si představujeme vytváření antihmoty je takový, že když vytvoříme a udržíme antihmotu, kterou následně necháme střetnout se se hmotou, dojde tak k výbuchu, pomocí kterého budeme moci získávat energii. Je zde však nedostatek! K vytvoření antihmoty bude třeba také energie, vzhledem k tomu, že jsme momentálně schopni vytvořit pouze uměle za pomoci urychlovače částic v (například v CERNu), nikoliv ji získat bez vyložení energie na její získání a jelikož na základě teorie o vzniku vesmíru, kde po velkém třesku zbylo jen velmi málo antihmoty, která se ve vesmíru dá nalézt do teď. Proč? Vědci doposud mohou pouze hádat. Z toho všeho vyplývá, že nebudeme schopni antihmotu uplatnit v energetice jakýmkoliv způsobem. Jenže v březnovém vydání magazínu 3pol roku 2011 je následující: "Každý den probíhá na světě okolo 18 tisíc bouřek a do zemského povrchu udeří více než tři miliony blesků. Pokud zrovna teď zuří bouře nad vámi, dost možná nějakých 15 kilometrů nad vaší hlavou vzniklo více antihmoty, než kolik dokáže vyrobit urychlovač v CERNu."

Tento jev přirozeného vzniku antihmoty stojí za vysvětlení. Proces začíná terestrickým gama bleskem (TGF), intenzivním pulsem gama paprsků směřujících ven z bouřky. Výzkumníci NASA odhadují, že za den může být těchto gama blesků až pět set. Při analýze těchto záblesků narazili vědci na zajímavý fenomén. Když družice Fermi 14. prosince 2009 prolétala nad Egyptem, zachytila gama blesk vytvořený bouří v Zambii. Blesk se ale udál za horizontem, mimo přímý dohled družice. Jak je tedy možné, že jej Fermi detekovala? NASA přišla s teorií, která tento jev vysvětluje. Gama blesk vychází ze silného elektrického pole v bouřce. Elektrony z tohoto pole jsou urychlovány směrem vzhůru, v řídké atmosféře mohou dosáhnout téměř rychlosti světla. Když tyto extrémně rychlé elektrony narazí do atomů, vznikne vlna gama záření. [6]

Druhá polovina vědců totiž tvrdí, že ačkoliv je tvrzení vědců z první poloviny pravdivé, víme stále málo o antihmotě, například "Je antihmota antigravitační?" otázka, na kterou momentálně nemáme odpověď, ale díky vědcům z CERNu jsme stále blíže a blíže k odpovědi ano či ne. Viz z citace výše je pravděpodobné, že v budoucnu se může najít technologie pro získávání antihmoty s minimálním požadavkem na energii, kterou vložíme pro její vznik. Tedy kromě „těžby“ pozitronů z blesků, můžeme najít antiprotony ve vrchních vrstvách atmosféry Země (cca 100 km nad zemským povrchem), kde vznikají srážkami kosmického záření (protonů) se vzduchem [5]. O zachytávání antihmoty na oběžné dráze se zatím reálně neuvažuje, jelikož nedokážeme (rok 2001) anti-protony efektivně skladovat.

Továrnu na systematickou výrobu a skladování antičástic pro fyzikální a inženýrské účely začala vyvíjet firma Positron Dynamics v roce 2013. Jádrem továrny bude lineární urychlovač, produkující pozitrony, tedy antičástice k elektronům. Továrna by měla zhruba do pěti let vyrábět asi 10 mikrogramů antihmoty týdně. Toto množství by třeba stačilo na výpravu lidí k Jupiteru, pokud by raketa měla zvláštní pohon, založený na antihmotou katalyzované jaderné fúzi. Firma Positron Dynamics hodlá vyřešit problém s odchytáváním a skladováním pozitronů zbrzděním pozitronů 50 tenkými plátky polovodivého materiálu. Nakonec budou již dostatečně zpomalené pozitrony vyloveny z tohoto prostředí magnetickým polem a uloženy "stranou", do bezpečné magnetické pasti.

Otázkou bezpečnosti se zabývá jaderná energetika od počátku jejího využívání a je stále na vyšší úrovni. Na oficiálních webových stránkách NASA, která se staví negativně směrem k uplatnění antihmoty v energetice je psáno, že u reakcí hmoty s antihmotou by bylo třeba stejných bezpečnostních opatření, jako u nukleární reakce.

Zaměříme se na energetické zdroje na Kladensku, kdy roční výroba tepelné elektrárny na Kladně je 1 585 GWh. Energetický zisk z 1 kg hmoty je 24 965 GWh. Pokud bychom chtěli nahradit pouze tepelné elektrárny a místo neúčinného chemického spalování použít mnohonásobně účinnější metodu anihilace pak by nám stačilo pouze 64g hmoty a tedy jenom 32 g antihmoty pro roční výrobu stejného množství energie. Ovšem i toto nepatrné množství několika čajových lžiček antihmoty je nám s dosavadním technologickým vybavením nedostupné.

Lokalita	Druh	Instalovaný výkon	Roční výroba elektřiny
Buštěhrad	Fotovoltaická	2 396 MW	
Kladno	Tepelná	472 MW	1 585 GWh
Pchery	Větrná	6 MW	6,6 GWh

Tab. 1 Přehled výroby elektrické energie na Kladensku

Antihmota a doprava

Automobily obecně způsobují nejvíce negativních vlivů na životní prostředí a zdraví lidí ze všech druhů dopravy okolo 90%, kde zbylá procenta tvoří železnice s 9%, letecká doprava a lodní doprava. Jmenujme několik negativ současného způsobu užívání benzínového a naftového motoru a ty jsou: znečištění ovzduší (emise oxidu uhelnatého CO, těkavých organických látek, oxidu siřičitého SO₂, ozónu O₃ a prachových částic), znečištění vody a půdy, hluk a vibrace, spotřeba neobnovitelné energie (ropa), emise oxidu uhličitého (jeden ze skleníkových plynů). Celosvětová výroba automobilů loni vzrostla o čtyři procenta na 82,5 milionu vozů a letos by se měla zvýšit o téměř šest procent na 87,4 milionu. Vyplývá to z odhadů poradenské společnosti PricewaterhouseCoopers (PwC) sídlící v Německu. Celkový počet aut na světové úrovni je odhadován na 6 miliard na celkovou populaci okolo 7 300 000 000. Je tedy skoro nepředstavitelné, jak moc škodíme naší planetě tímto způsobem.

Soustředíme se nyní na využití antihmoty v našem blízké budoucnosti. Jedno z pravděpodobně z nejlepších využití by bylo využití palivového článku, který by mohl nahradit současné klasické dieselové a benzínové motory. S využitím palivového článku by ale všechna jmenovaná negativa zmizela úplně. Představme si budoucnost s palivovým článkem takto: s palivem bychom si potíže nedělali, jakmile bychom byli blízko vyčerpání palivového článku, jednoduše se zastavíme na stanici, kde skoro vybitý palivový článek vyměníme za plně nabitý nebo dobijeme skoro vybitý, se kterým jsme se dostavili na stanici. Je zde tak vidět obrovský potenciál v elektromobilech. Očividnou nevýhodou by ale byla konstrukce vozidla, která by vyžadovala jistě velký počet úprav na stávajících designech, za předpokladu, že by byla vůbec možná. Úprava by také byla velmi drahá a nemůžeme v současné době usoudit, kolik by stálo nové auto s touto technologií a jak moc by bylo dražší než daná modifikace. Jenže dle nejnovějších prototypů elektromobilů (např. v Japonsku), si můžeme všimnout upraveného designu, který by byl s největší pravděpodobností vhodný. A to jsme celkově mluvili jen o automobilech. Můžeme tuto technologii budoucna využít i v ostatních odvětvích dopravy a logistiky jako jsou letecká, lodní, železniční, což by mělo za následek větší pokles znečišťování.

V roce 2012 se v České republice prodalo 2,2 miliardy litrů benzínu a 4,8 miliardy litrů nafty. Pro snížení možné chyby se soustředíme na prodaný benzín, který se většinou používá v osobní dopravě. Podle EPA (U.S. Environmental Protection Agency) je množství uvolněného CO₂ při spalování jednoho galonu (3,79 l) benzínu 8 788 gramů. Pokud se tedy spálilo všech 2,2 miliardy litrů benzínu, uvolnilo se celkem 5 101 000 tun CO₂. V roce 2012 vyprodukovala Česká republika 99 646 000 tun CO₂ a pokud odečteme pouze úsporu na palivových článcích pro benzinové automobily, získáme úsporu 5,12 %.

Jen v okrese Kladno je zaregistrováno 135 000 vozidel, z nichž 82 000 je aktivně využíváno. Pokud budeme uvažovat 100 km ujetých v rámci Kladenska na každé vozidlo měsíčně, tak vozidla vyrobí (za předpokladu, že všechna splňují požadavek na výrobce o hranici 130 g CO₂ na jeden ujetý kilometr) maximálně 1 066 tun CO₂.

Odvážným návrhem je anihilační motor s pevným jádrem, který funguje obdobně jako štěpný jaderný motor s pevným jádrem. Do pevného jádra (tepelného výměníku z wolframu nebo grafitu), skrze které proudí pracovní látka (kapalný vodík), jsou vystřelovány antiprotony. Ty anihilují a vzniklá energie je jádrem pohlcována. Jádro se prudce zahřívá a od něj se zahřívá i pracovní látka, která expanduje a proudí ven klasickou tryskou. Zajímavé je, že tento koncept dosahuje nejlepší účinnosti využití energie získané anihilací, dokonce přes 80 %. [7]

Instalace těchto anihilačních motorů s pevným jádrem v úpravě proudového motoru do letadel civilní a nákladní letecké dopravy by rapidně snížily emise oxidu dusného a oxidu uhličitého a omezilo kontaminování vzdušného prostoru.

Palivovým článkům aktuálně svítí oranžová a konečně můžeme začít plánovat jejich podobu. Vědcům ze skupiny ALPHA, seskupení fyziků v CERNu v Ženevě, se podařilo vytvořit a uchovat atomy antihmoty po dobu 1000 sekund, přitom dosavadní úspěšné experimenty s antihmotou nepřesáhly ani celou sekundu. S pomocí magnetického pole zadrželi na déle než 16 minut celkem 309 atomů antivodíku. Podle Joela Fajanse, který je součástí týmu ALPHA, je možná nejvýznamnějším zjištěním, že atomy antivodíku se už po jedné sekundě začaly uklidňovat do základního stavu a jde možná o vůbec první antihmotu, která byla kdy vyrobena a přešla z excitovaného stavu do základního.[8]

Antihmota a zdravotnictví

Pozitronová emisní tomografie, představuje nejrozšířenější využití antihmoty v současné době. Pacientovi se podají radiofarmaka s velmi krátkým poločasem rozpadu. Nádorové buňky potřebují energii, a tak mají velkou spotřebu glukózy, z tohoto důvodu se radiofarmaka dostanou k poškozeným buňkám, kde dojde k rozpadu, při kterém jsou produkovány pozitrony. Pozitrony anihilují s elektrony na 2 γ fotony o energii 511 KeV a jsou zaznamenány tzv. koincidenčním detektorem. Z velkého množství (až několik set tisíc) takovýchto záznamů lze výpočtem rekonstruovat tomografický obraz pacienta.[9]

V ČR je pět pracovišť, které pozitronovou emisní tomografií nabízejí a to: Nemocnice Na Homolce, fakultní nemocnice v Plzni, Hradci Králové a Olomouci a MOÚ v Brně.

Mínění o antihmotě na Kladensku

Zajímalo nás, co si myslí naši spoluobčané o antihmotě a jejím využití. K tomuto účelu jsme sestavili anketu a tázali se jak studentů na naší škole, kteří z převážné většiny pochází z Kladenského regionu, v rodině a okolí města Kladna. Celkem jsme se dotázali 100 respondentů.

Ptali jsme se na následující otázky:

1) Co je to antihmota?

- A) Pozitron
- B) Druh látky, která je složená z antičástic
- C) Ta neexistuje, existuje pouze ve sci-fi
- D) Látka složená z mikročástic
- E) Nevím

2) Lze jí spatřit v přírodě a je ekologicky využitelná?

- A) Ano, spatříme jí, ale není ekologicky využitelná
- B) Ne, neexistuje a nedá se tak vůbec využít
- C) Ano, spatříme jí a je ekologicky využitelná
- D) Ne, ale když jí získáme, jde využít ekologicky
- E) Nevím

3) Dá se využít v energetice?

- A) Ne, je příliš nebezpečná
- B) Možná v budoucnu, ale teď ne
- C) Ano, je možné, že časem nahradí atomové elektrárny
- D) Nedá, protože neexistuje
- E) Nevím

4) Vyskytuje se při běžných fyz. dějích?

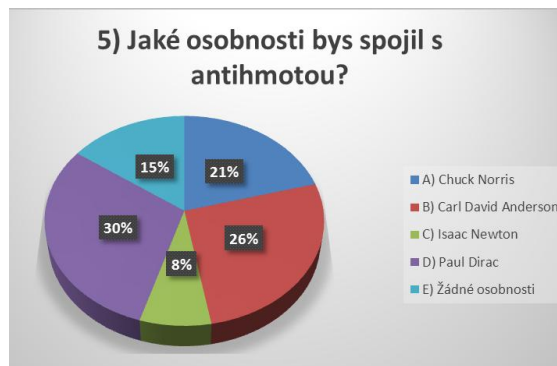
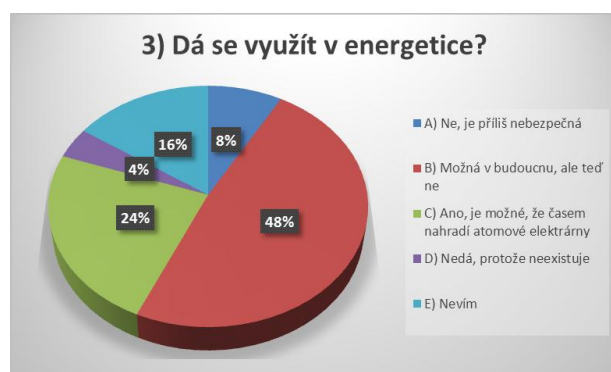
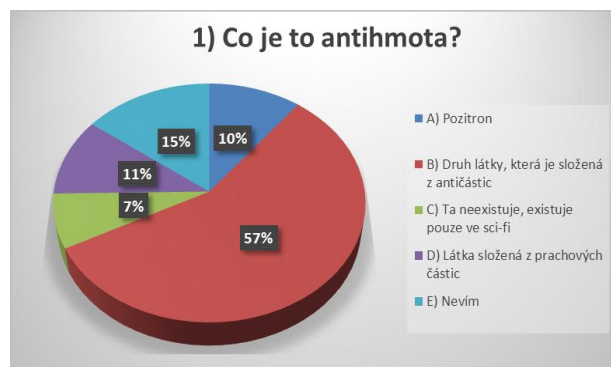
- A) Pouze u některých
- B) Vyskytuje se u všech
- C) Nevyskytuje se
- D) Neexistuje, takže ne
- E) Nevím

5) Jaké osobnosti by jsi spojil s antihmotou?

- A) Chuck Norris
- B) Carl David Anderson
- C) Issac Newton

- D) Paul Dirac
- E) Neexistuje

Po zpracování odpovědí jsme získali následující informace o odpovědích:



Zpracovali jsme výsledek nejčastějších odpovědí do následujícího trochu si odporujícího názoru: Antihmota je druh látky, která je složená z antičástic. Nelze ji spatřit v přírodě, ale pokud ji získáme, je ekologicky využitelná. Možná se dá v budoucnu využít v energetice, ale teď ne. Běžně se vyskytuje u některých fyzikálních jevů. Paul Dirac je největší osobností spojovanou s antihmotou.

Zmíněná trocha polemiky je v tvrzení že antihmotu nemůžeme běžně spatřit v přírodě ale běžně se vyskytuje u některých fyz. jevů. Je možné, že respondent uvažoval slovo spatřit ve významu vidět, pak by bylo tvrzení v pořádku, jelikož jediné co je možné vidět jsou částice fotony.

V 19 % případů neznali respondenti odpověď nebo se nedokázali rozhodnout.

V 18 % případů projevíli respondenti vážnou neznalost problematiky.

Závěr

Projekt ukazuje antihmotu ve světě, který ji přijal a rozhodl se jí využít k lepší budoucnosti. Antihmota je součástí našeho života, doloženě se vyskytuje volně v atmosféře, v laboratořích v podzemí, ve vesmíru v blízkosti země.

Využití antihmoty jako zdroje energie je zatím pouze v teoretické fázi. V současné době je mnohem energeticky nákladnější antihmotu vyrobit, než kolik se z ní získá energie při anihilaci s hmotou. O antihmotě jako o zdroji energie je uvažováno pro dokonalou přeměnu částic v energii při anihilaci (100% účinnost) a také proto, že způsob získávání energie pomocí anihilace je zcela ekologický.

Učíme se s částicemi antihmoty pracovat, na začátku tisíciletí jsme ji udrželi sotva postřehnutelný okamžik a po patnácti letech se bavíme o několika minutách. Vznikají první soukromé subjekty, které chtějí antihmotu využívat jak k vědeckým tak komerčním účelům. Antihmota nás vede k pochopení vesmíru, prostoru a stvoření samotného.

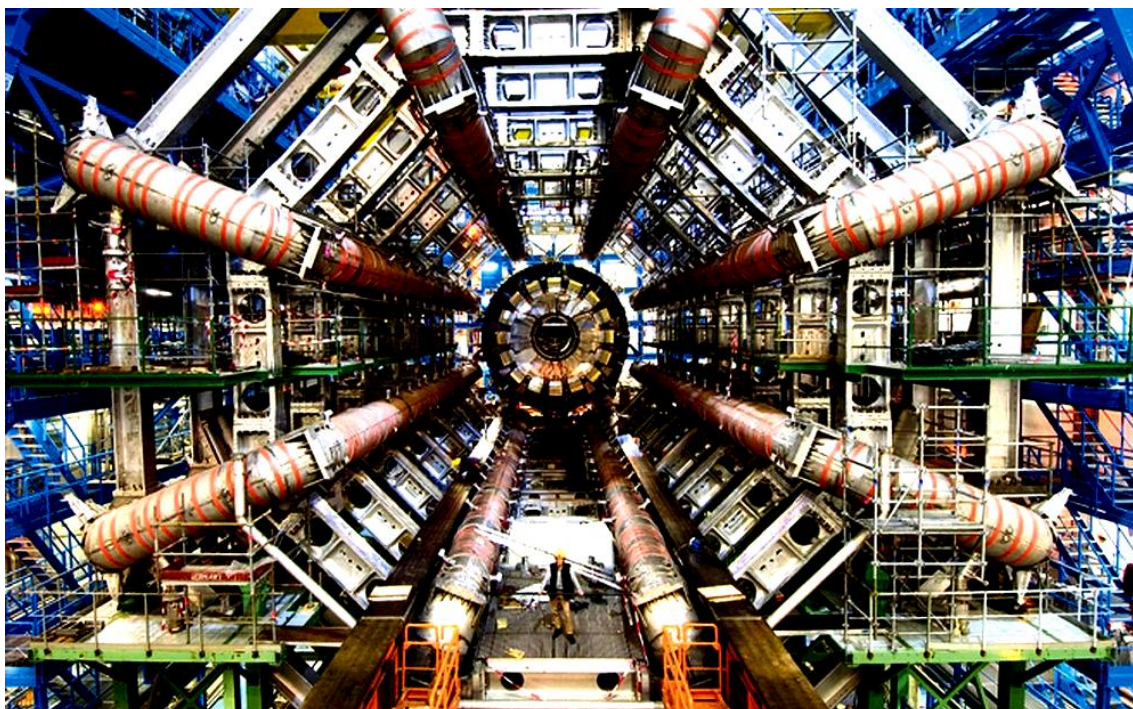
Inženýři a architekti navrhují nové využití antihmoty jako palivo budoucnosti, pohonné jednotky, reaktory, transportéry, ale také nové metody těžby a získávání antihmoty. Mezigalaktické cesty jsou nyní blíže než kdy dříve, planety sluneční soustavy se začínají zahrnovat do naší infrastruktury. Díky antihmotě se stává svět i budoucnost dostupnější.

Investice do antihmoty se nám jeví významná i v regionálním měřítku, kdy je možné ušetřit miliony na emisích, za energie, za zdraví občanů. Každá technokratická společnost by jistě ihned vybrala technologie antihmoty za svůj primární cíl a v blízké budoucnosti z těchto technologií žila v blahobytu.

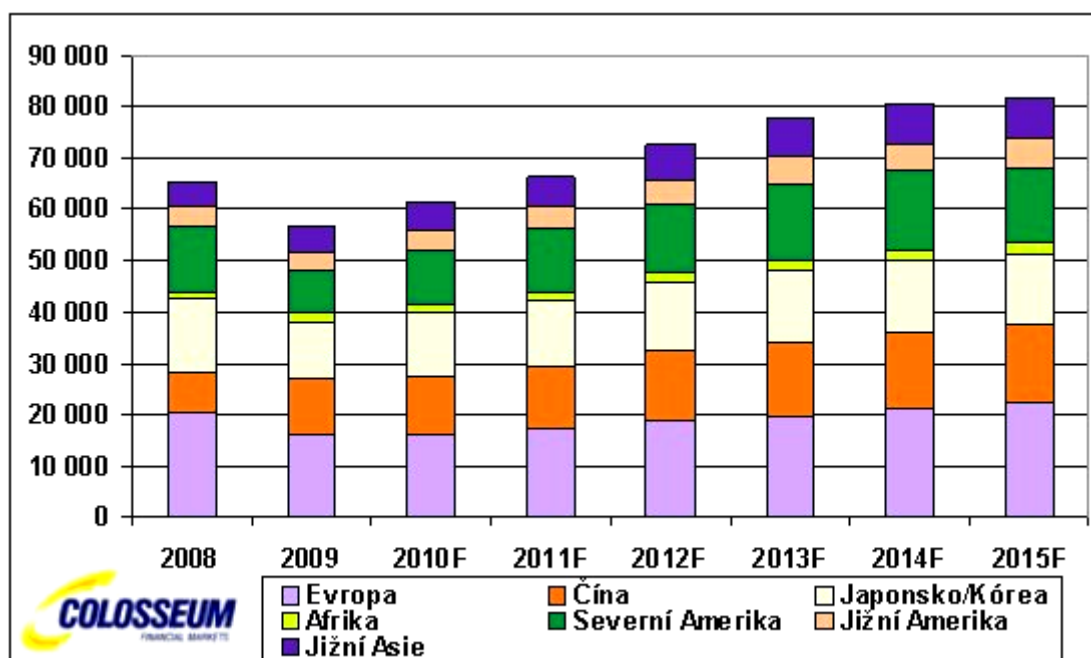
Průzkum veřejného mínění dokazuje, že povědomí a vzdělanost týkající se antihmoty je na dobré úrovni (63 % respondentů), což přináší živnou půdu pro propagaci těchto technologií, získání financí a výborných vědců, inženýrů, architektů a techniků, kteří by technologii rozvíjeli.

Tím že víme málo o antihmotě, můžeme ještě hodně získat a hodně se naučit. Je antihmota antigravitační?

Obrazová příloha



Obr. 1 LHC, jeden z detektorů urychlovače částic, jehož cílem je sledovat chování hmoty a antihmoty.



Obr. 2 Roční produkce aut v tisících (Zdroj: CSM Worldwide)

CO₂ emissions from energy use

	in 1000 tons CO ₂		Change 2012/2011	
	2011*	2012 estimate	in absolute terms (1000 tons CO ₂)	in %
EU27	3 489 868	3 417 382	-72 486	-2.1
Belgium	97 472	85 939	-11 533	-11.8
Bulgaria	51 410	47 881	-3 529	-6.9
Czech Republic	105 131	99 646	-5 485	-5.2
Denmark	42 961	38 908	-4 053	-9.4
Germany	721 656	728 065	6 409	0.9
Estonia	18 688	18 590	-99	-0.5
Ireland**	36 605	36 132	-473	-1.3
Greece	90 358	90 189	-170	-0.2
Spain	261 523	257 760	-3 764	-1.4
France	335 009	332 295	-2 714	-0.8
Italy	385 365	365 688	-19 676	-5.1
Cyprus	6 919	6 332	-587	-8.5
Latvia	6 563	6 376	-187	-2.8
Lithuania	11 387	11 577	190	1.7
Luxembourg	10 452	10 272	-180	-1.7
Hungary	44 880	43 175	-1 705	-3.8
Malta**	2 558	2 720	162	6.3
Netherlands	162 796	157 115	-5 680	-3.5
Austria	64 338	61 354	-2 984	-4.6
Poland	312 645	296 817	-15 828	-5.1
Portugal	46 217	44 388	-1 830	-4.0
Romania	78 506	74 954	-3 552	-4.5
Slovenia	15 365	14 979	-386	-2.5
Slovakia	32 897	30 758	-2 140	-6.5
Finland	53 248	46 970	-6 278	-11.8
Sweden	41 134	36 974	-4 160	-10.1
United Kingdom	453 785	471 530	17 745	3.9

* Official 2011 data as reported to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

** Include some Eurostat estimates

Obr. 3 Tabulka emisí ze stránek EUROSTAT Your key to European statistics

Poděkování

Děkujeme za odbornou pomoc a asistenci učiteli **Bc. Jánů Hýblovi**. Za technickou a finanční podporu děkujeme společnosti **Progredior Kybernetés s.r.o.**, a projektu **Cestou přírodovědných a technických oborů napříč Středočeským krajem (CZ.1.07/1.1.00/44.0011)** a především naší škole **SPŠ a VOŠ Kladno**.

Použitá literatura

- [1] J., Kapoun. *Ztracená antihmota (1): Diracovy šílené myšlenky* [online]. F solutions, s.r.o., 08.10.2004, [cit. 5.1.2015]. Dostupné z: <<http://scienceworld.cz/fyzika/ztracena-antihmota-1-diracovy-silene-myslenky-2160>>.
- [2] J., Kapoun. *Ztracená antihmota (2): Příprava antiatomu* [online]. F solutions, s.r.o., 19.10.2004, [cit. 5.1.2015]. Dostupné z: <<http://scienceworld.cz/fyzika/ztracena-antihmota-2-priprava-antiatomu-2140>>.
- [3] J., Kapoun. *Ztracená antihmota (4): Pátrání po antihmotě* [online]. F solutions, s.r.o., 08.12.2004, [cit. 7.1.2015]. Dostupné z: <<http://scienceworld.cz/fyzika/ztracena-antihmota-4-patrani-po-antihmote-2048>>.
- [4] P., O'Luanigh. *New results indicate that new particle is a Higgs boson* [online]. CERN, 2013-3-14, [cit. 2014-12-15]. Dostupné z: <<http://home.web.cern.ch/about/updates/2013/03/new-results-indicate-new-particle-higgs-boson>>.
- [5] V., Bonvicini et al. *The PAMELA experiment in space*, In: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 461* (2001) 262 - 268.
- [6] Kol. autorů. *NASA's Fermi Catches Thunderstorms Hurling Antimatter into Space* [online]. NASA, 2011-10-1, [cit. 2014-10-23]. Dostupné z: <http://www.nasa.gov/mission_pages/GLAST/news/fermi-thunderstorms.html>.
- [7] M., Křenek. *Budoucnost vesmírných letů (3): Využití antihmoty* [online]. F solutions, s.r.o., 08.12.2004, [cit. 7.1.2015]. Dostupné z: <http://www.scienceworld.cz/neziva-priroda/budoucnost-vesmirnych-letu-3-vyuziti-antihmoty-4112/?switch_theme=mobile>.
- [8] Kol. autorů. *Vědcům se poprvé podařilo uchovat antihmotu déle než zlomek sekundy, a rovnou 16 minut* [online]. LIVING FUTURE F solutions, s.r.o., 07.06.2011, [cit. 20.1.2015]. Dostupné z: <<http://www.livingfuture.cz/clanek.php?articleID=10290>>.
- [9] M., Schmitt. *Pozitronová emisní tomografie* [online]. Třípól – časopis pro studenty, 2004-2-28, [cit. 2015-1-5]. Dostupné z: <<http://www.3pol.cz/cz/rubriky/medicina-a-prirodoveda/869-pozitronova-emisni-tomografie>>.