

# Modelové představy K.E:Ciolkovského

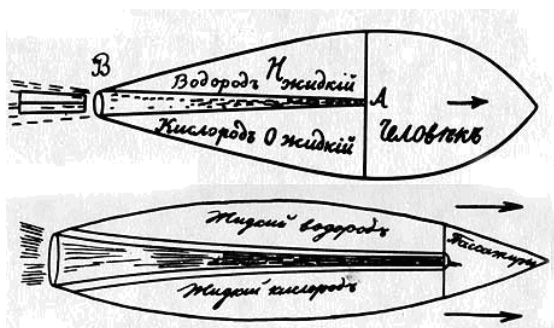
Jindřiška Svobodová, Katedra fyziky, chemie a odborného vzdělávání,  
Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity v Brně  
svobodova@ped.muni.cz

## Úvod

Víceméně náhodou jsme našli na stránkách Ruské akademie věd vlastnoruční zápisky ruského fyzika, zakladatele kosmonautiky, K.E.Ciolkovského (1857-1935) [1]. Probírali jsme se archivem těchto historických materiálů a postupně před námi vyvstal obraz badatele, který na základě solidních fyzikálních znalostí mistrně zkombinoval exaktní i intuitivní přístupy ke zkoumaným problémům. Z mozaiky pracovních poznámek a náčrtků, které jsme prošli, vysvítá Ciolkovského představivost. Při prvotní orientaci v novém problému začal řadou nákresů, náčrtků, obrázků, které mu pomáhaly vystihnout hlavní charakteristiky zkoumaného jevu. Bez ohledu na formu jeho kreseb, která je místy až dětsky prostá, překvapují na obrázcích výstižné předpovědi. Obdiv byl tím větší, jakmile jsme si uvědomili, že své úvahy a propočty stavěl na úplně "zelené louce". Vlastní zkušenosti měl pouze z pobytu ve stereotypním prostředí malé vesnice. Málokdo v té době tušil, co a jak se při kosmickém cestování změní oproti běžným podmínkám, na něž jsme přivykli na zemi. Například o tom, jak se bude případně kosmické plavidlo chovat a jaké změny pocítí posádka uvnitř, psali do té doby jen snílci.

V roce 1903 publikoval práci „Výzkum kosmického prostoru pomocí reaktivního pohonu“, která se stala základem teorie raket. Ciolkovskij představuje a fyzikálně zdůvodňuje princip rakety (viz obr.1). Raketový motor měl spalovat směs kapalného kyslíku a kapalného vodíku. Návrh byl vskutku vizionářský, kyslíko-vodíková směs je dodnes jednou z hlavních pohonných látek pro raketové motory.

V roce 1912 v časopisu „Vestnik vozduchoplavanija“ Ciolkovskij uveřejnil dodatek ke své práci z roku 1903. Teprve tento článek zaujal větší část odborníků a práce se dostala i do zahraničí. Zpětně se pak zahraniční vědci a konstruktéři raket zajímali o jeho dřívější studie. Autor se zabývá přetížením při startu, stavem beztlíže, vypočítává vliv odporu atmosféry na start rakety a také doporučuje v budoucnu využít energie vzniklé při rozpadu atomů k meziplanetárním letům. Bezesporu některé z jeho myšlenek se jeví z dnešního pohledu naivní, tu a tam se vyskytoval omyl, ale vyznění díla bylo velmi nadčasové a jeho úvahy dovedené do podoby fyzikálních modelů daleko předběhly svou dobu.



Obr. 1 Schéma jednostupňové rakety

Rozhodli jsme se tyto vzácné obrazové podklady využít pro semináře s studenty učitelství přírodních věd.

## Základní Ciolkovského výpočty

K.E.Ciolkovskij vyvodil základní modelové vztahy pro reaktivní pohyb tělesa. Za zjednodušených předpokladů: svislý start rakety 90°, zanedbání gravitace a aerodynamických jevů, stálá výtoková rychlost plynů a stálá rychlost spalování – úbytku hmotnosti. Jeho rovnice lze zapsat následovně:

$$V = v_e \cdot \ln \left\{ \frac{M_0}{M} \right\}$$

$$M = M_0 - \dot{m} \cdot t$$

$$t_{\max} = \frac{M_0}{\dot{m}} \left( 1 - \frac{M}{M_0} \right)$$

$$h = v_e \frac{M_0}{\dot{m}} \left[ 1 - \frac{M}{M_0} \left( \ln \frac{M_0}{M} + 1 \right) \right]$$

$$a = \frac{\dot{m} \cdot v_e}{M_0 - \dot{m}t}$$

$V$  rychlost rakety

$v_e$  efektivní výtoková rychlost výfuku plynů (v rozsahu 2500-4500m/s - kapalná paliva)

$M_0$  počáteční hmotnost rakety

$M$  je aktuální hmotnost rakety, snižuje se v průběhu letu, dokud se palivo nespotřebuje

$\dot{m}$  je hmotnostní tok, indikuje rychlost ubývání hmotnosti rakety - tzv. specifický impuls

$t$  doba letu,  $a$  zrychlení

Poměr počáteční a konečné hmotnosti rakety Ciolkovskij navrhoval v rozmezí 3–8; i dnes je obtížné s moderními kapalnými palivy dosáhnout vyšších hodnot.

Ciolkovskij navzájem sladil závěry, k nimž dospěl při své práci. Potřeboval najít technické řešení realizace reaktivního pohonu, aby raketa byla schopna vynést posádku do vesmíru. Inspirací mu údajně byla scéna z Verneova díla *Ze Země na Měsíc* (1865), kde se autor zmiňoval o tom, jak zabrzdit pád kabiny na Měsíc dvaceti raketami na střelný prach.

Ciolkovskij potřeboval náhradu střelného prachu, neboť ten je pro kosmické rakety nevhodný, jelikož hoří příliš rychle. Rakety vyžadují pohonné látky hořící mnohem pomaleji a s regulovatelným tahem. Po dlouhém hledání mu připadala jako vhodná látka směs kapalného vodíku (palivo) a kapalného kyslíku (okysličovadlo). „Neznám žádnou jinou skupinu látek, která by při svém chemickém slučování vydávala na jednotku hmoty získaného produktu tak velké množství energie.“ píše si jednoho dne do svého deníku. Podle kreseb je patrné, že si uvědomoval, jak se postupným úbytkem paliva posune těžiště kosmické lodi směrem dozadu.

Z dalších obrázků je vidět, že Ciolkovský promýšlel, jak bude působit na tělesa uvnitř kosmické lodi přetížení při zrychlené fázi letu. Zapsal si, že startuje-li raketa svisle vzhůru, sčítá se zrychlení rakety s gravitačním zrychlením. Dokonce studoval i fyziologické účinky přetížení, v poznámkách popisuje, jak budou pohyby těla ztíženy a jak přetížení působí přelévání krve v těle. Z toho usuzoval, že nejlépe člověk snáší přetížení v poloze hrud'-záda, tak i dnes obvykle létají v této fázi letu kosmonauti.

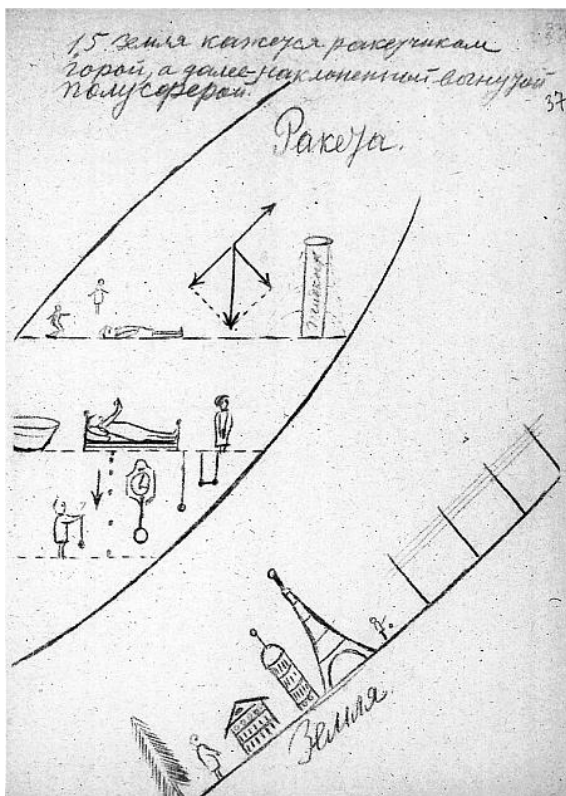
Dále se zabývá stavem beztíže, který nastává po navedení kosmické lodi na oběžnou dráhu. Podle polohy lodi v atmosféře mohou zbytkové vnější síly (odpor atmosféry, vyvolaná rotace tělesa) způsobit, že stav beztíže není dokonalý.

Podle dalších archivních dokladů Ciolkovskij přemýšlel o inteligentním mimozemském životě, v roce 1928 vydal knížečku „Vůle vesmíru. Neznámé rozumné síly“ a o dva roky později studii „Vědecká etika“: V obou dílech se zabývá existencí mimozemšťanů, obě díla vyšla pouze v malých nákladech a jsou dnes sběratelskou kuriozitou.

Ciolkovskij ve svých vědeckých studiích uvažuje o raketovém letadle, předchůdci dnešního raketoplánu. Sní o orbitálních stanicích, o kolonizaci vzdálených planet, o takovém přelidnění Sluneční soustavy, že lidé budou muset osídlit celou Mléčnou dráhu. Píše o vyhasnutí našeho Slunce, což přinutí lidstvo odletět k jiným hvězdám. V roce 1929 vyšla kniha "Raketové vlaky", v níž rozvinul myšlenku vícestupňových raket, která se v kosmonautice uplatňuje dodnes. Uvědomoval si, že pro kosmický let je nevhodné, aby raketa spotřebovávala příliš mnoho energie na urychlení sebe sama a svého paliva.

### Situační obrázky do výuky

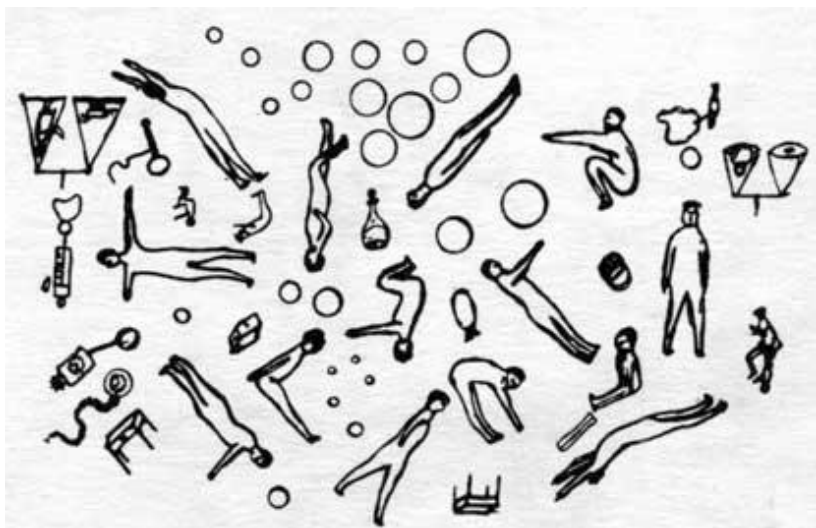
Z Ciolkovského archivu jsme vybrali několik zajímavých dokumentů a použili je k studijním aktivitám. Co s nimi? Necháme studenty volně hovořit o situaci zobrazované na kresbě. Snahou je, ať v nich fyziku sami najdou a vysvětlí, jak to chápou. Několik z nich se stručným komentářem přikládáme na ukázkou.



**Obr. 2 Vizuální a silové poměry v raketě**

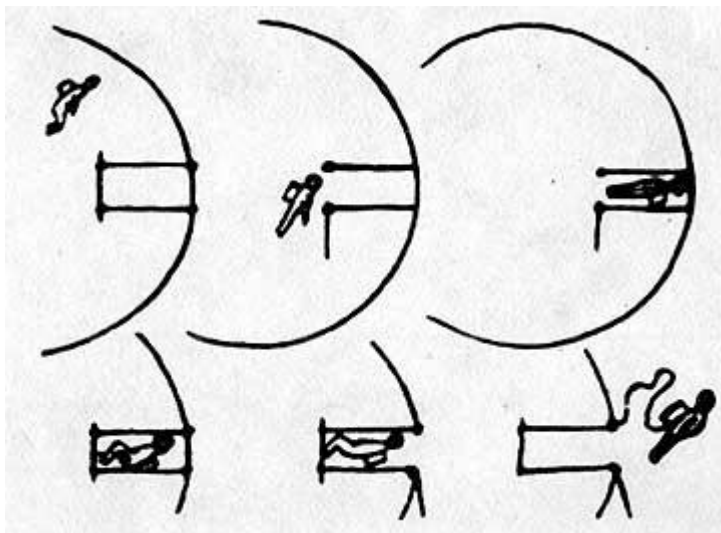
Na obrázku 2 studenti rozpoznali situaci v raketě, která se vůči zemskému povrchu urychluje, přitom výšku zachovává stejnou a jen ve vodorovném směru se urychluje (přibližně se zrychlením o velikosti  $g$ ). Cestující v raketě vnímají výslednici – vektorový součet setrvačné síly a gravitační síly. Výsledné zrychlení již nesměruje do středu Země. Projevy tohoto stavu

jsou dokumentovány na kyvadlech, výtoku kapaliny otvorem ve stěně apod. Při urychlování rakety jsou lidé vtačováni do postele.



**Obr. 3 Stav beztlíže**

Na obrázku 3 studenti rozeznali kosmickou loď ve stavu beztlíže, jejich postřehy: nefungují klasické váhy ani mincíř, kapaliny tvoří koule, kyvadlové hodiny nejdou. Je naznačeno, že ztrácí lidé pojem o tom, co je dole. Nyní si uvědomují, že „nahore – dole“ je dáno na zemi gravitací a zde přestává být rozlišitelné. Lidé stojí kolmo na stěny a plavou ve středu rakety.



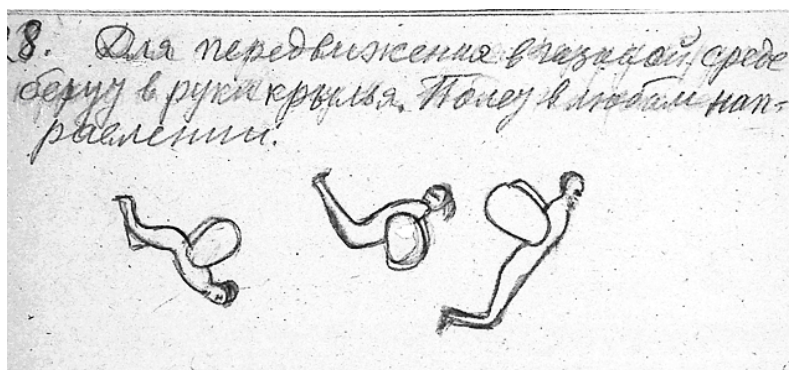
**Obr. 4 Výstup do prostoru – vakua**

Zde je na obrázku kosmonaut při výstupu do volného prostoru. Přestupuje z kabiny lodi, kde je vzduch, do vesmírného vakua. Šikovně využije mezikomoru. Má skafandr a nese si s sebou kyslík.



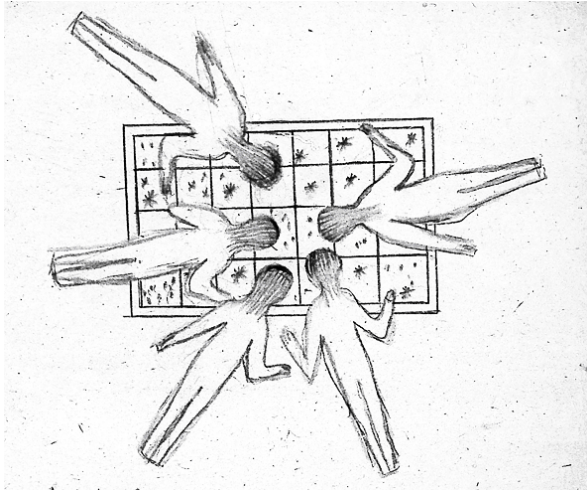
**Obr. 5 Pítí kapaliny**

Na obrázku 5 kosmonauti pijí vodu pomocí hadiček, které vedou do sudu. Zdá se, že obrázek znázorňuje tu situaci, která nastane, až lidé ze sudu upijí, pak se vytvoří koule tekutiny uprostřed a kosmonauti již nemají kapalinu u svých hadiček. Proto zde mají takové zařízení na kliku, tou musejí zatočit a pak odstředivou silou se kapalina dostane opět k povrchu sudu a mohou osat.



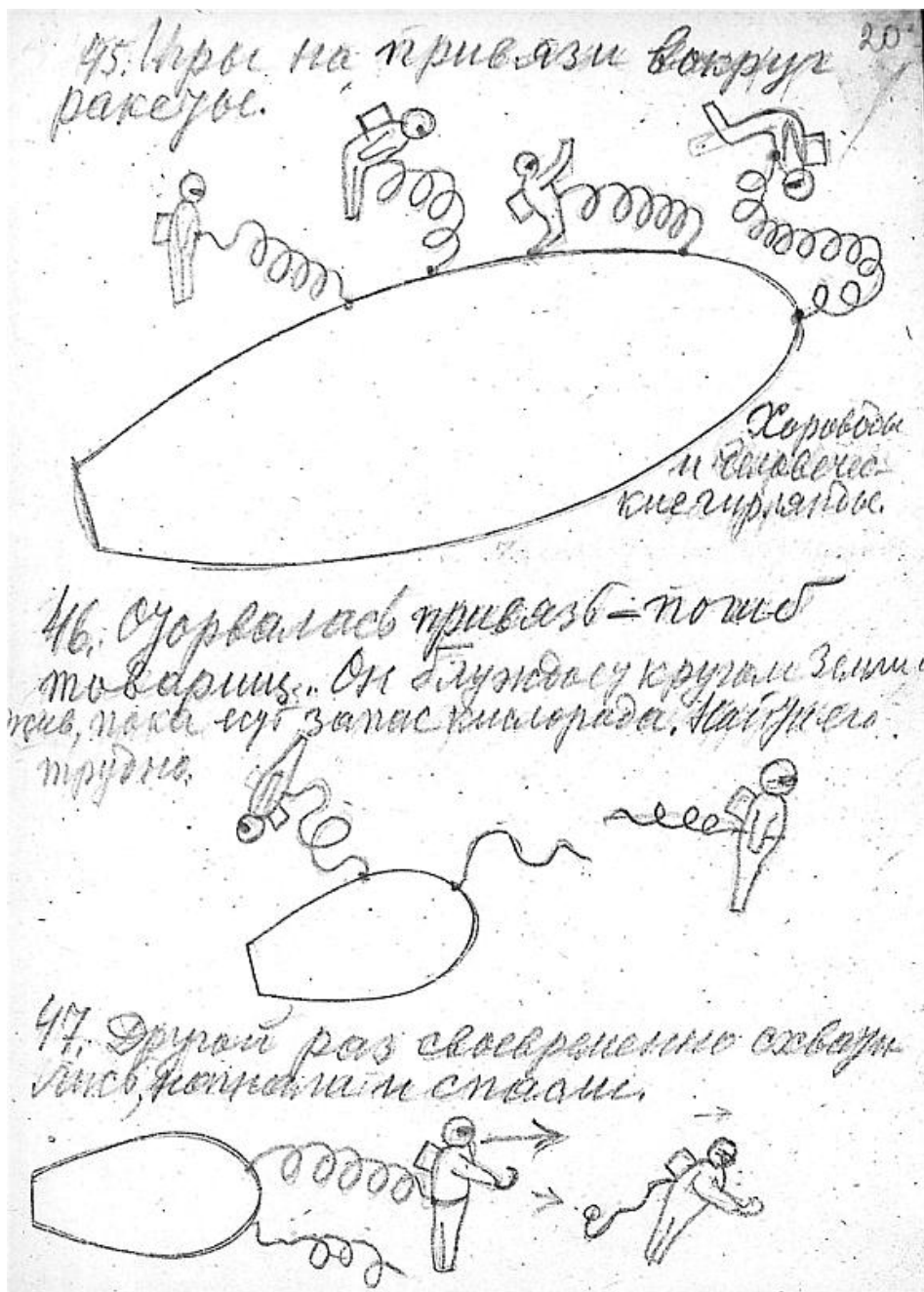
**Obr. 6 Pohyb uvnitř rakety ve stavu beztíže**

Na obrázku 6 je ukázán způsob, jakým se mají přemísťovat v prostředí kabiny, kde je vzduch. Pohyb pomocí křídel užitím odporu vzduchu představuje velmi efektivní způsob pohybu v kabině.



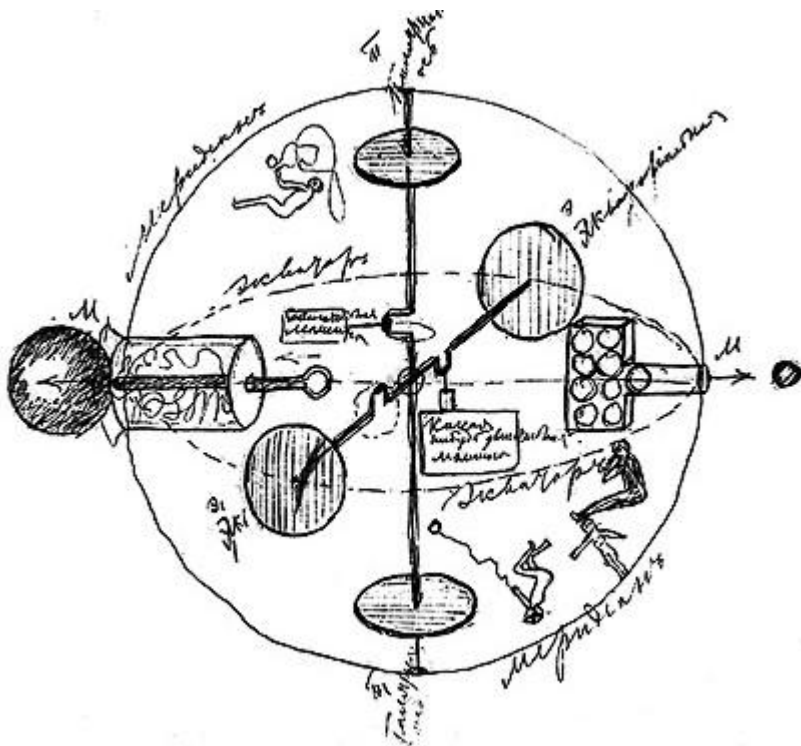
**Obr. 7 Pohled ven z kosmické lodi**

Pohled z okna kabiny kosmické lodi, otázkou je, co pozorovatelé asi budou vidět jinak, než normálně vidí ze země. Ciolkovskij napovídá, že budou především vidět černé nebe, plné hvězd, uvidí Měsíc jako mnohem jasnější těleso, Slunce bude mít jiný odstín, nemá odfiltrovánu modrou složku atmosférou, tedy jeho barva je bělejší, při pohybu lodi na nízké orbitě zeměkoule může zabírat poměrně velkou část obzoru.



Obr. 8 Hrátky v prostoru

Hrátky na pružných provázcích v okolí kosmické lodi. Pokud se někomu lanko přetrhne, ten nešťastník se stane satelitem. Není-li vybaven reaktivním motorkem nebo něčím, co by mohl odhodit, je pro něj nemožné vrátit se zpět a po vyčerpání kyslíku umírá. Jeho kamarád jej může zachránit tím, že se sám více na lanku napruží a stáhne ho zpět.



**Obr. 9 Kulová kabina kosmické lodi**

Obrázek ukazuje kabinu - kovovou kouli, jsou vyznačeny osy polární a rovníková. Vlevo a vpravo jsou dvě zařízení, která evidentně slouží pro změnu rychlosti pohyb koule. V pravém zařízení jsou malá tělíčka vypouštěná do prostoru střelným prachem. Levá jednotka s velkým průměrem trubky umožňuje vypustit tělesa významnější hmotnosti. Po vypuštění tělesa do prostoru dojde (zákon zachování hybnosti) ke změně rychlosti koule. Dále je na obrázku patrná soustava gyroskopů pro stabilizaci. Gyroskopy lze použít i pro případné natočení kabiny do požadovaného směru, kdy kosmonauti uvnitř pákami otočí gyroskopem a (zákon zachování točivosti) kabina se patřičně natočí.

### **Životopis otce kosmonautiky**

Ruský matematik a vynálezce K.E. Ciolkovskij se narodil 17. září. 1857 v Rjazaňské oblasti v zapadlé ruské vesničce jako syn lesního. V mládí onemocněl spálou, po níž téměř ohluhl. V důsledku svého postižení musel opustit místní školu a stát se vlastně samoukem. Již tehdy se v něm projevil hluboký zájem o fyziku a techniku. Konstruoval doma různé modely a mechanické hračky a snil o letech do vesmíru. V 16 letech odjel sám do Moskvy a studoval matematiku a fyziku, dny trávil v ústřední knihovně hltáním vědomostí z učebnic. Všechny peníze, které mu rodiče posílali, utrácel za knihy a žil velmi skromně.

V roce 1880 začal vyučovat aritmetiku a geometrii. Po složení učitelských zkoušek se dostal do zapadlého městečka Borovsk, kde založil rodinu. Ta trpělivě snášela posedlost, s níž se Ciolkovskij věnoval svým výzkumům. Jeho byt se proměnil ve skutečnou laboratoř a místní obyvatelé si brzy šeptali o „šíleném vědci“. Přestože výsledky jeho práce nebyly nikde publikovány, doslechli se o nich v Petrohradě. Ciolkovskij pak dostal lépe placené místo učitele matematiky a fyziky na gymnáziu v Kaluze. I tady veškerý volný čas věnoval návrhům a výzkumům. Jeho zájem se soustředil na konstrukci letadel těžších než vzduch, postupně přešel od aerodynamiky k výzkumu možnosti kosmických letů. Při požáru svého domku přišel o všechny výpočty, modely a knihy, přesto studii dokončil. V roce 1897 postavil v



Rusku první aerodynamický tunel. Svými pracemi, které byly zmiňovány výše v textu, položil základy kosmonautiky. Po roce 1921 obdržel od vlády penzi a slušný plat a mohl se tak plně věnovat otázce kosmických letů.

## **Závěr**

Létání v kosmu bylo oblíbeným lidským snem. Možná i díky tomuto snu se kosmické lety uskutečnily spíše než jiné vědecké a technické úkoly, které byly pro lidstvo zásadnější. Ciolkovskij dokázal svými pracemi ponouknout lidstvo k realizaci cest do vesmíru. Jeho výrok „Naše planeta je kolébkou rozumu, ale není možné věčně žít v kolébce“ patří mezi známé citáty.

Využití obrázků z jeho sbírek Ciolkovského patří mezi momenty, které by mohly utkvět v hlavách studentů. Připadalo nám hezké ožít jeho dílo tím, že studenti hledají fyzikální podstatu jevů zachycených na obrázcích. Možná si tím nějak všichni uvědomíme fakt, že naše civilizace stojí „na ramenou obrů“.

## **Dedikace**

Vznik článku byl podpořen z prostředků projektu: CZ.1.07/2.2.00/28.0182 Moduly jako prostředek inovace v integraci výuky moderní fyziky a chemie.

## **Použité zdroje**

- [1] [http://www.ras.ru/ktsiolkovskyarchive/1\\_actview.aspx?id=84](http://www.ras.ru/ktsiolkovskyarchive/1_actview.aspx?id=84) – Ruská akademie věd
- [2] <http://demonstrations.wolfram.com/LaunchingARocket/>  
( internetové zdroje - březen 2013)
- [3] CODR Milan, 1976, Vesmír dokořán, 1. vyd, česky, Albatros, Praha, 293 stran
- [4] LÁLA, Pavel, VÍTEK, Antonín, 1982, Malá encyklopedie kosmonautiky, MF, Praha
- [5] TURNER, M.J.L.,2005, "Newton's Third Law and the Rocket Equation," Rocket and Spacecraft Propulsion, 2nd ed., New York: Springer, pp. 14–17.
- [6] Циолковский, К.Э.,1989, ПРОМЫШЛЕННОЕ ОСВОЕНИЕ КОСМОСА, ISBN5-217-00593-9