

Název: Magdeburské polokoule

Téma: Atmosférický tlak, vakuum, podtlak

Úroveň: střední škola

Tematický celek: Látky a jejich přeměny, makrosvět přírody

Předmět (obor): fyzika

Doporučený věk žáků: třídy čtyřletého gymnázia, nebo vyšší stupeň víceletého gymnázia

Doba trvání: 2 vyučovací hodiny

Specifický cíl: naučit žáky naplánovat a provést badatelskou činnost a vyhodnotit její výsledky

Seznam potřebného materiálu:

Materiál na realizaci experimentu pro každou skupinu:

dvě přísavky, 2 zvony na čištění odpadu, siloměry, pouťové balónky, pevný tenký provázek (asi 60 cm dlouhý), pravítko, kružítko, čtvrtka papíru, voda, olej, pevná hladká plocha (např. deska stolu), malé háčky (3 až 4 cm), nůžky, papírový ubrousek, vlhčený ubrousek, kousek látky (asi 15 cm × 15 cm), filtrační papír

Seznam praktických (badatelských) aktivit:

Návrh a provedení experimentu demonstrující sílu, kterou může působit atmosférický tlak
Porovnání různých těsnících materiálů

Anotace:

Po motivační části, která je zaměřena na historii objevování vakua, se (na základě shrnujícího textu) žáci pokusí najít a vyvrátit několik miskonceptů (mylných názorů) středověku. Následně navrhnu a provedou experiment s jednoduchými pomůckami demonstrující sílu, kterou může působit atmosférický tlak a nepřímo tak dokázat i existenci vakua. Při svém experimentování si žáci samostatně vybírají mezi nabídnutými pomůckami. Změřenou velikost síly porovnají s teoretickou předpovědí.

Harmonogram výuky:

	náplň práce	čas	potřebné vybavení a pomůcky	činnost učitele	činnosti žáků
Úvod do tématu – motivace	Krátká motivační přednáška o historii objevování vakua	20 min.	Prezentace, text pro učitele	Učitel přednáší a vede následnou diskusi o historii objevování vakua.	Aktivně poslouchají a následně se účastní diskuse. Přispívají vlastními postřehy, hledají odpovědi na položené otázky.
Předlaboratorní příprava	1. Práce se shrnujícím textem pro žáky 2. Vyvrácení mylných hypotéz středověku	15 min.	Shrnující text pro žáky Pracovní list Magdeburské polokoule – úkol č. 1	Učitel rozdává shrnující text a pracovní listy a vysvětlí zadání. Radí žákům, pokud je to potřeba.	Žáci si pročítají rozdaný text. Každý sám za sebe se snaží vyplnit svůj pracovní list (úkol č. 1). Své výsledky konzultují s ostatními.
Praktická (badatelská) činnost	Navržení a provedení slavného experimentu Otto von Guericke s jednoduchými pomůckami	35–40 min.	Materiál na experimenty: dvě přísavky, 2 zvony na čištění odpadu, siloměry, pouťové balónek, provázek, pravítko, kružítko, čtvrtka papíru, voda, olej, hladká plocha (deska stolu), malé háčky, nůžky, papírový ubrousek, vlhčený ubrousek, kousek látky, filtrační papír Pracovní list – úkol č. 2	Učitel ukazuje různé pomůcky, které lze na provedení experimentu využít. Učitel usměrňuje studenty v jejich experimentování. Učitel pomáhá, je-li požádán.	Studenti sestavují experiment, provádějí měření a zapisují je do pracovních listů.
Vyhodnocení výsledků	Shrnutí	10 min.	Realizovaný experiment, pracovní listy	Učitel moderuje vyhodnocení výsledků.	Studenti porovnávají jednotlivé výsledky.
Prezentace výsledků	Závěrečná diskuse, co se žákům povedlo či nepovedlo, jak se jim líbila celá akce	5 min.	Pracovní listy	Učitel řídí závěrečnou diskusi.	Studenti formulují poznatky, ke kterým došli.

Domácí úkol pro žáky: Neexistuje.

Přípravy pro učitele

Podrobný časový plán:

- krátká motivační přednáška „Historie objevování vakua“ – 15 min.; kontrolní otázky a diskuse – 5 min. (celkem 20 min.)
- úkol č. 1: samostatná práce žáků s textem (vyvrácení mylných středověkých hypotéz) – 10 min.; diskuse – 5 min. (celkem 15 min.)
- úkol č. 2: práce ve skupinách, navržení a provedení experimentu Otto von Guericka s jednoduchými pomůckami – 40 min.
- shrnutí a prezentace výsledků jednotlivých skupin – 10 min.
- závěrečná diskuse – 5 minut

Z uvedených orientačních časů vyplývá, že tuto aktivitu lze realizovat ve dvou vyučovacích hodinách.

Motivace a předlaboratorní příprava:

V úvodní části (na základě připraveného textu pro učitele) lektor provede formou přednášky krátké shrnutí historie objevování vakua. Poté ve společné diskusi položí následující kontrolní otázky:

- Kdo první dokázal existenci atmosférického tlaku?
- Jaké známe jednotky tlaku?
- K čemu slouží vývěva?
- Kdo první sestrojil vývěvu?
- Kdo zdokonalil vývěvu?

Následně lektor rozdá Shrnující text pro žáky a pracovní list Magdeburské polokoule – úkol č. 1. Žáci hledají v textu mylné středověké hypotézy a správné vysvětlení zapíší do pracovního listu.

Úkol č. 1: Nalezněte v textu mylné středověké hypotézy a pokuste se je na základě vlastních znalostí vyvrátit:

Příklad mylných hypotéz a jejich vysvětlení ukazuje následující tabulka:

Mylná středověká hypotéza	Správné fyzikální vysvětlení
Pokud voda v uzavřené láhvi zmrzla, její objem se snížil, a láhev tedy praskla proto, aby zabránila vytvoření vakua.	Voda při mrznutí zvětšuje svůj objem, v uzavřené láhvi se proto zvětší tlak a láhev praskne.
Mylná středověká hypotéza	Správné fyzikální vysvětlení
Voda nevyteče malým otvorem z láhve, když je dnem vzhůru, „kvůli hrůze z prázdnoty“ která by vznikla v místě vody vyteklé z láhve.	Výtoku vody z láhve brání atmosférický tlak okolního vzduchu.

Poznámky pro učitele:

Po úvodní motivační části následuje experimentální část zaměřená na provedení slavného experimentu Otto von Guericke s jednoduchými pomůckami demonstrujícího sílu, kterou může působit atmosférický tlak a nepřímo dokazujícího i existenci vakua.

Seznam pomůcek:

dvě přísavky, dva zvony na čištění odpadu, siloměry, pevný tenký provázek (cca 60 cm), pouťové balónky, pravítko, kružítko, čtvrtka papíru, voda, olej, pevná hladká plocha (např. deska stolu, dlaždičky), malé háčky (cca 3–4 cm), nůžky, papírový ubrousek, vlhčený ubrousek, kousek látky (asi 15 cm × 15 cm), filtrační papír

Úkol č. 2: Navrhněte a proveďte experiment Otto von Guericke s dostupnými pomůckami.

Nejdříve se žáci seznámí s pomůckami, které pro experimentování mohou použít.

Žáci se nejdříve sami zamyslí a zapíší, jak by mohli reprodukovat slavný experiment Otto von Guericke a jak změřit velikost síly potřebné k odtržení „polokoulí“ od sebe. Poté žáci v pracovní skupině prodiskutují jednotlivé nápady jak realizovat experiment a pokusí se shodnout na jednom řešení.

Vypracují ke každému navrženému experimentu postup a hypotézu, jak experiment bude probíhat, a vše zapíší do svých pracovních listů.

Žáci nejprve teoreticky spočítají, jaká byla potřebná síla k odtržení pravých Magdeburských polokoulí, a následně spočítají, jaká bude maximální potřebná síla k odtržení testovacích „polokoulí“ od sebe. Pozor na výpočet! Síla vzduchu působící na jednu polokouli je $F = \pi r^2 \cdot p_{atm}$ – musíme uvažovat *průřez polokoule*, nikoli její povrch (tedy ne $F = \frac{1}{2} \cdot 4\pi r^2 \cdot p_{atm}$).

Žáci pokus realizují, zapíší naměřené hodnoty a svá pozorování.

Žáci mohou vyzkoušet různé těsnící materiály.

Možné varianty provedení experimentu:

Varianta 1

Pomůcky:

2 přísavky na dlaždičky, provázek na vytvoření oček, dva siloměry

Jak na to:

Obě „magdeburské polokoule“ k sobě přitiskneme tak, abychom vytlačili vzduch mezi nimi. Na očka pověsíme siloměry a s pomalým taháním se pokusíme polokoule od sebe oddělit. Sledujeme přitom ukazatele na siloměrech a hodnoty velikosti sil při odtržení zaznamenáme.



Varianta 2

Pomůcky:

Přísavka na dlaždičky, provázek na vytvoření oka nebo háček, jeden siloměr, pevný hladký povrch

Jak na to:

Přísavku přitiskneme k pevnému hladkému povrchu tak, abychom vytlačili co nejvíce vzduchu mezi nimi. Na očko nebo háček zavěsíme siloměr a pomalým taháním se pokusíme přísavku oddělit od hladkého povrchu. Sledujeme přitom ukazatel na siloměru a hodnotu velikosti síly při odtržení zaznamenáme.

Další možnosti:

Místo přísavek můžeme použít zvony na čištění odpadu. Jako těsnící materiál mezi „polokoule“ můžeme použít mokrý papír, mastný papír, jen namočené okraje nebo namaštěné okraje. Vyzkoušíme různé těsnící materiály.

V závěru žáci společně s lektorem zhodnotí různé realizace experimentu a diskutují nad následujícími otázkami:

- Jak ovlivnil výslednou sílu těsnící materiál?
- Na čem závisí síla, která je potřebná k odtržení „polokoulí“? Byl ovlivněn výsledek množstvím vzduchu, které zbylo mezi „polokoule“?
- Jak bychom mohli v práci pokračovat?
- Bylo něco obtížné?
- Překvapilo vás něco při realizaci?
- Jaké další realizace experimentu s jinými pomůckami vás napadly?

Text pro učitele

Historie objevování vakua

Starověk: „Jak může být nic něčím?“ zní otázka, kterou si pokládali starověcí řečtí filozofové. Pro **Platóna** (* 427 př. n. l. – † 347 př. n. l.) nebyla myšlenka vakua vůbec představitelná. Platón věřil, že všechny věci fyzické vznikají zhmotněním abstraktního platonického ideálu, tudíž si ani nemohl představit „ideální“ formu vakua. Obdobně smýšlel i **Aristoteles** (* 348 př. n. l. – † 322 př. n. l.), který považoval vytvoření vakua za nemožné. Tento řecký filozof nadto předpokládal, že sublunární svět se skládá ze čtyř živlů (ohně, vzduchu, země a vody) a tvrdil, že každý z nich zaujímá své vlastní přirozené místo, ze kterého by mohl být odstraněn pouze aktem násilí. Vzduch dle tohoto řeckého filozofa a mnohých jeho následovníků tedy neměl váhu a nevyvíjel ani tlak. Pozdější řečtí myslitelé se domnívali, že vakuum může existovat vedle vesmíru, ale nikoli uvnitř něj. Nesmíme zapomenout zmínit se o řeckém filozofovi **Demokritovi**, který **zavedl pojem atom**. K ideji atomu dospěl úvahou, že pokud bychom rozdělovali hmotu donekonečna, získali bychom nic. Z ničeho ale nelze hmotu znovu sestavit. Demokritos prohlašoval, že svět je tvořen malými kousky hmoty (atomy) a prázdnoty (kenony). Stojí za zmínku, že atom byl také považován za základní stavební kámen duše.

Středověk: Ve středověku byla pouhá úvaha o vakuu obecně pojímána jako myšlenka amorální či dokonce i kacířská. Přijmout myšlenku nepřítomnosti něčeho by totiž znamenalo připustit nepřítomnost Boha a dopustit tak uvržení zpět v nicotu.

Pokud už se některý ze středověkých myšlenkových experimentů nějak týkal vakua, kladl si především otázku, zda vakuum je či není darem. Tyto spekulace uzavřel roku 1277 v Paříži biskup Etienne Temper prohlášením, že neexistují žádná omezení sil Boha a vyvodil závěr, že Bůh by jistě vakuum vytvořil, pokud by si to přál.

Myšlenkové proudy středověku zkrátka neopouštěly přesvědčení, že v přírodě nelze vytvořit prázdnotu za pomoci přírodních sil. Myšlenky Aristotelova pojednání *Fyzika* rozpracovalo několik středověkých autorů v teorii přírody a jejího *odmítání prázdnoty (vakua)*. Příroda má vrozenou hrůzu z prázdnoty, vyhýbá se jí a zabraňuje jejímu vzniku. Teorie o hrůze z prázdnoty byla použita k výkladu různých přírodních jevů (obtížnost odtržení dvou dokonale vyleštěných ploch od sebe, obtížné otevírání dobře uzavřených měchů, neodtékání vody z malých otvorů v láhvi, když je dnem vzhůru...). Hrůzou z prázdnoty byl vysvětlován i výškový limit, kam se toho času podařilo nejvýše vyčerpávat vodu, a byl jí objasňován problém zapečetěné láhve naplněné vodou, která praskne, když zmrzne. Zde vyvodili učení pánové z dnešního pohledu chybný závěr, že pokud voda zmrzla, její objem se snížil, a láhev tedy praskla proto, aby zabránila vytvoření vakua.

Aristotelovská teorie strachu z prázdnoty začala být často diskutována a především zpochybňována od poloviny šestnáctého století, kdy došlo k jistému znovuzrození atomismu. Tento myšlenkový proud považoval doktrínu o existenci vakua za ústřední a zásadní. Souběžně s tím značný rozvoj experimentování posunul do centra diskuse otázku, jaká je hmotnost vzduchu, pokud vůbec existuje. Přes určité intuitivní závěry některých atomismu nakloněných středověkých autorů zůstal atmosférický tlak velkou neznámou až do počátku sedmnáctého století. Obecný nesouhlas s ideou existence vakua v přírodě však přetrval až do dob vědecké revoluce. V čele odporu této myšlenky stáli učenci jako **Paolo Casati** (* 1617 Piacenza – † 1707) nebo **Athanasius Kircher** (* 1602 Geisa – † 1680), který představoval vskutku tvrdého odpůrce vakua.

Objevení tlaku vzduchu: Mezi prvními, kteří nabídli inovativní pohled na prázdnotu a tlak vzduchu, byl Holanďan **Isaac Beeckman** (*1588 Middelburg – † 1637), čínorodý experimentátor, který svými moudrými postupy zkoumal řadu fyzikálních problémů. V roce 1626 stanovil vztah mezi tlakem a objemem při daném množství vzduchu. Přijal existenci prázdna a uznal, že vzduch tlačí v každém směru. Zároveň byl jedním z prvních, kdo zavedl pojem pružnosti vzduchu.

Giovanni Battista Baliani (* 1582 Genova – † 1666 Genova), italský matematik a fyzik, se stal známým svým pečlivým studiem mechaniky. Jakožto guvernér města Savonne narazil při zavlažování zahrad na nepřekonatelný problém. Potřeboval vodu vyčerpat do výše 21 metrů, což se ukazovalo jako nemožné. S tímto problémem se obrátil na **Galileo Galileia** (* 1564 Pisa – † 1642 Arcetri), který z tohoto podnětu provedl experimentální měření, na jejichž základě stanovil maximální výšku vodního sloupce na 18 sáhů (což přibližně odpovídá 10 metrům).

Gasparo Berti (* 1600 – † 1643) se mezi lety 1640 až 1643 spolu s **Raffaelem Magiottim** (* 1579 – † 1656) zabývali vývojem různých experimentálních zařízení se záměrem empiricky potvrdit maximální výšku vodního sloupce stanovenou Galileim.



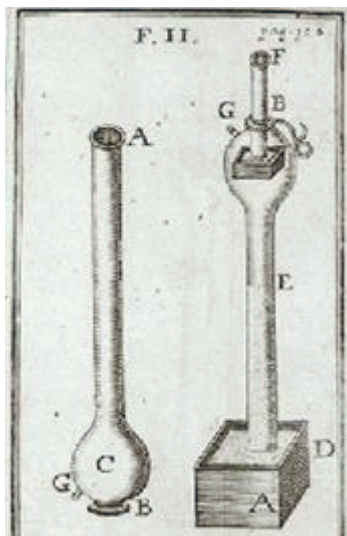
Obr. 1: Historický záznam Torricelliho experimentů

Ve Florencii na jaře roku 1644 provedl **Evangelista Torricelli** (* 1608 Faenza – † 1647 Firenze) experiment se skleněnými trubicemi zatavenými na jednom konci a naplněnými rtuťmi. Naplněnou trubici na otevřeném konci uzavřel koncem prstu, otočil trubici zataveným koncem vzhůru a ponořil její otevřený konec, stále ucpaný prstem, do nádoby plné rtuťmi. Zjistil, že sloupec rtuťi klesl pouze zčásti a hladina se zastavila ve výšce okolo 76 cm nad hladinou rtuťi v nádobě (obr. 1). Torricelli byl přesvědčen, že prostor, který vznikl klesnutím rtuťi ve skleněné trubici, je tvořen pouze vakuem, a že výška sloupce rtuťi je závislá na tlaku vzduchu, který tlačí na hladinu rtuťi ve skleněné misce. V dopise vědci jménem **Michelangelo Ricci** (* 1619 – † 1682) 11. června 1644 Torricelli prohlásil, že jeho experiment implikuje dvě podstatná zjištění, a sice: **Příroda z prázdnoty nikdy hrůzu neměla a Vzduch má vlastní hmotnost**. Ricci hrál důležitou roli v teoretických i experimentálních diskusích, které probíhaly v době před Torricelliho objevem a po něm.

Tímto svým slavným experimentem, který byl inspirován Galileem, rozpoutal Torricelli divokou diskusi, a to jak ve vědeckých, filozofických, ale i v kosmologických kruzích a nastartoval úplnou „atmosférickou horečku“. Největší z filozofů, vědců a teologů z celé Evropy, se začali intenzivně věnovat období reflexe a experimentování, jehož cílem bylo potvrdit anebo zpochybnit existenci vakua a atmosférického tlaku. Příznivce Aristotela ani Descarta experiment nepřesvědčil a tvrdili, že sklo má velmi jemné póry, jimiž mohou pronikat paprsky světla, magnetu a jiné částice hmoty.

„Mnoho povyku pro nic“, pravil by možná William Shakespeare, a byl by v tomto případě opět velmi výstižný, protože pojem prázdnota (vakuum) tvoří synonymum k pojmu nic. V polovině sedmnáctého století, v době rozkvětu vědecké revoluce, jsou jedním z hlavních témat diskusí jednání o prázdnotě a atmosférickém tlaku vzduchu, o stavbě hmoty a povaze vesmíru. Hlavními rozhodčími v této diskusi byli **Galileo, Descartes, Gassendi, Hobbes, Pascal a Newton**.

Adrien Auzout (*1622 Rouen – †1691 Roma) prováděl výzkumy především v oblastech statiky plynů a astronomie. Byl výtečným experimentátorem a mezi jeho největší úspěchy můžeme zařadit experiment, který provedl na podzim roku 1647 a který bývá nazýván „prázdnota uvnitř prázdnoty“. Při tomto experimentu dokázal, že výška sloupce rtuti je závislá na tlaku vzduchu uvnitř zařízení (obr. 2). Experiment probíhal následovně: barometrickou trubici se rtutí vložil do přístroje, v němž vzápětí vytvořil vakuum. Takto v barometrické trubici hladina rtuti významně klesla. Tím předvedl, jakou úlohu má atmosférický tlak pro funkci rtuťového barometru.



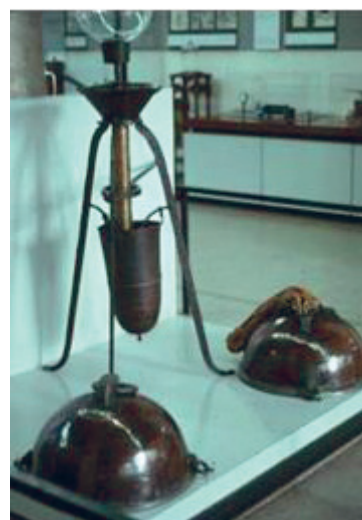
Obr. 2: Experiment Adriena Auzouta: Výška sloupce rtuti je závislá na tlaku vzduchu uvnitř zařízení

Blaise Pascal (* 1623 Clermont – † 1662 Paris) proslul nejen jako fyzik, matematik, ale též teolog a křesťanský filozof. Jeho první experimenty vycházely z Torricelliho experimentů s barometrickou trubicí. Jeden z nejnámějších experimentů, které Pascal provedl, byl experiment v Clermontu a na blízké hoře Puy-de-Dome, kde provedl za veřejné asistence řadu exaktních srovnávacích měření rtuťového sloupce v různých nadmořských výškách. Dokázal možnost existence vakua a prezentoval, že rtuťový sloupec podléhá pouze gravitaci a tlaku atmosféry.

O přínosu objevů Torricelliho a Pascala mluví samy za sebe dvě jednotky tlaku, které byly po nich pojmenovány (Torr, Pascal).

První důkaz atmosférické tlakové síly: Otto von Guericke (* 1602 Magdeburg – † 1686), fyzik, matematik a starosta Magdeburgu, provedl v tomto městě v roce 1654 slavný experiment, kterému se dodnes říká Magdeburské polokoule. Experimentem se odhodlal prezentovat, jak velikou tlakovou silou na nás působí okolní vzduch.

Duté Magdeburské polokoule o průměru 1,2 stopy (asi 51 cm) nechal vyrobit z mědi. Na jejich vnitřních okrajích byly připevněny kožené pásy napuštěné olejem, které fungovaly jako těsnění zabraňující vnikání vzduchu dovnitř mezi polokoule. V jedné polokouli zela otvor, kterým vědec vodní vývěvou vyčerpával vzduch z prostoru mezi polokoulemi. Teď k sobě polokoule přitlačoval již jen okolní vzduch. K vnějším úchytům každé polokoule byly zapřaženy čtyři páry koní, kteří se měli pokusit polokoule od sebe odtrhnout (obr. 4). Tlak vzduchu byl ovšem tak veliký, že polokoule držely pevně u sebe. Teprve po delší námaze se koním povedlo polokoule od sebe odtrhnout, přičemž se ozvala ohromná rána, která byla slyšet údajně až za hranice města.



Obr. 3: Originální Magdeburské polokoule

Experiment demonstroval sílu, kterou může působit atmosférický tlak, a nepřímo dokázal i existenci vakua. Originální Magdeburské polokoule jsou k vidění v Technickém muzeu v Mnichově (obr. 3).

Robert Boyle (* 1627 Lismore – † 1691) chtěl sestavit přístroj, který by mu usnadnil „výrobu vakua“. Za vydatné pomoci svého asistenta **Roberta Hooka** (* 1635 Freshwater – † 1702) se mu to v roce 1657 podařilo. Začal zkoumat vlastnosti vakua. Mezi jeho nejnámější experimenty patří pokusy se šířením zvuku, experimenty s hořením, nebo zjištění, že vzduch je nezbytný pro život.



Obr. 4: Průběh experimentu provedeného roku 1654 Otto von Guericke

Experiment, kterým k tomuto zjištění dospěl, zachytil v roce 1768 **Joseph Wright of Derby** na svém obraze, který pojmenoval: „An Experiment on a Bird in the Air Pump“ (obr. 5). Mezi nejznámější vědce výsledky patří tzv. Boyleův zákon, který nám sděluje, že součin objemu a tlaku ideálního plynu je stálý při konstantní teplotě.



Obr. 5: Experiment s ptáčkem ve vývěvě

Dalším zlomem v oblasti výzkumu vakua byl rok 1855, kdy **Heinrich Geissler** (* 1814 Igelshieb – † 1879 Bonn) vynalezl rtuťové objemové čerpadlo, které dokázalo vytvořit tehdy rekordní vakuum asi 10 Pa (0,1 Torr).

Obrázky byly převzaty z:

<http://www.observatory.cz/news/images/167-Torricelli.jpg>

<http://www.imss.fi.it/vuoto/eauzou.html>

http://www.hebig.org/blogs/archives/main/guericke_cropped.gif

<http://radicalart.info/physics/vacuum/WrightAirPump1768-S.jpg>

Shrnující text pro žáky

Magdeburské polokoule

Ve středověku byla pouhá úvaha o vakuu obecně pojímána jako myšlenka amorální či dokonce i kacířská. Přijmout myšlenku nepřítomnosti něčeho by totiž znamenalo připustit nepřítomnost Boha a dopustit tak uvržení zpět v nicotu. Pokud už se některý ze středověkých myšlenkových experimentů nějak týkal vakua, kladl si především otázku, zda vakuum je či není darem. Tyto spekulace uzavřel roku 1277 v Paříži biskup Etienne Temper prohlášením, že neexistují žádná omezení sil Boha a vyvodil závěr, že Bůh by jistě vakuum vytvořil, pokud by si to přál.

Myšlenkové proudy středověku zkrátka neopouštěly přesvědčení, že v přírodě nelze vytvořit prázdnotu za pomoci přírodních sil. Myšlenky Aristotelova pojednání *Fyzika* rozpracovalo několik středověkých autorů v teorii přírody a jejího *odmítání prázdnoty (vakua)*. Příroda má vrozenou hrůzu z prázdnoty, vyhýbá se jí a zabraňuje jejímu vzniku. Teorie o hrůze z prázdnoty byla použita k výkladu různých přírodních jevů (obtížnost odtržení dvou dokonale vyleštěných ploch od sebe, obtížné otevírání dobře uzavřených měchů, neodtékání vody z malých otvorů v láhvi, když je dnem vzhůru...). Hrůzou z prázdnoty byl vysvětlován i výškový limit, kam se toho času podařilo nejvýše vyčerpát vodu, a byl jí objasňován problém zapečetěné láhve naplněné vodou, která praskne, když zmrzne. Zde vyvodili učení pánové z dnešního pohledu chybný závěr, že pokud voda zmrzla, její objem se snížil, a láhev tedy praskla proto, aby zabránila vytvoření vakua.

Aristotelovská teorie strachu z prázdnoty začala být často diskutována a především zpochybňována od poloviny šestnáctého století, kdy došlo k jistému znovuzrození atomismu. Tento myšlenkový proud považoval doktrínu o existenci vakua za ústřední a zásadní. Souběžně s tím značný rozvoj experimentování posunul do centra diskuse otázku, jaká je hmotnost vzduchu, pokud vůbec existuje. Přes určité intuitivní závěry některých atomismu nakloněných středověkých autorů zůstal atmosférický tlak velkou neznámou až do počátku sedmnáctého století. Obecný nesouhlas s ideou existence vakua v přírodě však přetrvával až do dob vědecké revoluce.



Ve Florencii na jaře roku 1644 provedl Evangelista Torricelli (* 1608 Faenza – † 1647 Firenze) experiment se skleněnými trubicemi zatavenými na jednom konci a naplněnými rtuťí. Naplněnou trubici na otevřeném konci uzavřel koncem prstu, otočil trubici zataveným koncem vzhůru a ponořil její otevřený konec, stále ucpaný prstem, do nádoby plné rtuti. Zjistil, že sloupec rtuti klesl pouze zčásti a hladina se zastavila ve výšce okolo 76 cm nad hladinou rtuti v nádobě. Torricelli byl přesvědčen, že prostor, který vznikl klesnutím rtuti ve skleněné trubici, je tvořen pouze vakuem, a že výška sloupce rtuti je závislá na tlaku vzduchu, který tlačí na hladinu rtuti ve skleněné misce. V dopise vědci jménem Michelangelo Ricci (* 1619 – † 1682) 11. června 1644 Torricelli prohlásil, že jeho experiment implikuje dvě podstatná zjištění, a sice: **Příroda z prázdnoty nikdy hrůzu neměla** a **Vzduch má vlastní hmotnost**.

Historický záznam Torricelliho experimentů (převzato z <http://www.observatory.cz/news/images/167-Torricelli.jpg>)

Tímto svým slavným experimentem, který byl inspirován Galileem, rozpoutal Torricelli divokou diskusi, a to jak ve vědeckých, filozofických, ale i v kosmologických kruzích. Tímto experimentem nastartoval úplnou „atmosférickou horečku“. Největší z filozofů, vědců a teologů z celé Evropy, se začali intenzivně věnovat období reflexe a experimentování, jehož cílem bylo potvrdit anebo zpochybnit existenci vakua a atmosférického tlaku. Příznivce Aristotela ani Descarta experiment nepřesvědčil a tvrdili, že sklo má velmi jemné póry, jimiž mohou pronikat paprsky světla, magnetu a jiné částice hmoty.

„Mnoho povyku pro nic“, pravil by možná William Shakespeare, a byl by v tomto případě opět velmi výstižný, protože pojem prázdnota (vakuum) tvoří synonymum k pojmu nic. V polovině sedmnáctého století, v době rozkvětu vědecké revoluce, jsou jedním z hlavních témat diskusí jednání o prázdnotě a atmosférickém tlaku vzduchu, o stavbě hmoty a povaze vesmíru. Hlavními rozhodčími v této diskusi byli Galileo, Descartes, Gassendi, Hobbes, Pascal a Newton.

Blaise Pascal (* 1623 Clermont – † 1662 Paris) proslul nejen jako fyzik, matematik, ale též teolog a křesťanský filozof. Jeho první experimenty vycházely z Torricelliho experimentů s barometrickou trubicí. Jeden z nejznámějších experimentů, které Pascal provedl, byl experiment v Clermontu a na blízké hoře Puy-de-Dome, kde provedl za veřejné asistence řadu exaktních srovnávacích měření rtuťového sloupce v různých nadmořských výškách. Dokázal možnost existence vakua a prezentoval, že rtuťový sloupec podléhá pouze gravitaci a tlaku atmosféry.

O přínosu objevů Torricelliho a Pascala mluví samy za sebe dvě jednotky tlaku, které byly po nich pojmenovány (Torr, Pascal).

Otto von Guericke (* 1602 Magdeburg – † 1686), fyzik, matematik a starosta Magdeburgu, provedl v tomto městě v roce 1654 slavný experiment, kterému se dodnes říká Magdeburské polokoule. Experimentem se odhodlal prezentovat, jak velikou tlakovou silou na nás působí okolní vzduch. Duté Magdeburské polokoule o průměru 1,2 stopy (cca 51 cm) nechal vyrobít z mědi. Na jejich vnitřních okrajích byly připevněny kožené pásy napuštěné olejem, které fungovaly jako těsnění zabráňující vnikání vzduchu dovnitř mezi polokoule. V jedné polokouli zela otvor, kterým vědec vodní vývěvou vyčerpával vzduch z prostoru mezi polokoulemi. Teď k sobě polokoule přitlačoval již jen okolní vzduch. K vnějším úchytům každé polokoule byly zapřaženy čtyři páry koní, kteří se měli pokusit polokoule od sebe odtrhnout. Tlak vzduchu byl ovšem tak veliký, že polokoule držely pevně u sebe. Teprve po delší námaze se koním povedlo polokoule od sebe odtrhnout, přičemž se ozvala ohromná rána, která byla slyšet údajně až za hranice města. Experiment demonstroval sílu, kterou může působit atmosférický tlak a nepřímo dokázal i existenci vakua. Originální Magdeburské polokoule jsou k vidění v Technickém muzeu v Mnichově.



*Průběh experimentu provedeného roku 1654 Otto von Guericke
(převzato z http://www.hebig.org/blogs/archives/main/guericke_cropped.gif)*

Závěrečné poznámky

Jiné varianty a další možné úpravy či doporučení

Pro oživení a upoutání pozornosti je možné úvodní část doplnit jednoduchým motivačním pokusem, ke kterému potřebujeme: dvojlist novin, prkénko z lísky (laťku) a pevnou podložku (nejlépe stůl).

Prkénko z lísky položíme na stůl tak, aby se jedna z jeho polovin ocitla mimo desku stolu. Dvojlist novin rozložíme a položíme na desku stolu tak, aby jeho střed překrýval prkénko. Noviny jsou celou svou plochou položeny na desce stolu. Noviny nezapomeneme uhladit. Jedním rychlým pohybem udeříme do vyčnívající části prkénka. Prkénko se zlomí. Atmosférický tlak vzduchu pod novinami i nad novinami je na začátku experimentu stejný. Úderem do prkénka se jeho druhý konec, schovaný pod novinami, snaží noviny nadzvednout. Tím pod novinami vznikne podtlak, shora na noviny tlačí sloupec vzduchu a noviny zůstanou na potřebný moment na místě. Prkénko z lísky se ocitne ve „svěráku“ mezi stolem a novinami a prudkou ranou vedenou shora se zlomí.

Reflexe po hodině

Faktografické údaje v textu pro učitele a shrnujícím textu pro žáky nejsou proto, aby se je žáci učili nazpaměť. Jsou tam proto, aby si žáci v průběhu přednášky a následně i práce s textem uvědomili časovou škálu a historické souvislosti objevování vakua.

Žáci mají různé schopnosti a praktické dovednosti a přistupují k experimentu s různou mírou poctivosti. Rychlejší skupinám proto můžeme v dostupném čase nabídnout vyzkoušení dalších variant experimentu, než byla ta, kterou navrhli.

Navazující a rozšiřující aktivity

Mnoho dalších navazujících aktivit je k nalezení v publikaci Z. Kielbusové: Hrátky s plyny I, která je zdarma k dispozici na [www stránkách vzdělávacího programu ČEZ a. s. Svět energie](http://www.cez.cz/cs/vyzkum-a-vzdelavani.html):

<http://www.cez.cz/cs/vyzkum-a-vzdelavani.html>