

Úloha .15: Vortices

Tým ešitel Gymnázia Christiana Dopplera

20. března 2003

Úloha .15: Vortices

Tým ešitel Gymnázia Christiana Dopplera

20. března 2003

Obsah

1. Zadání	1
2. Vznik víru při úderu	1
3. Srážka dvou vír	1
4. Experimenty	3
4.1. Experimenty s jednou krabicí	3
4.2. Experimenty se dvěma krabicemi	4
5. Podkování	5

1. Zadání

Make a box that has a hole in its front wall and membrane as its back wall. Hitting the membrane creates a vortex that propagates out from the hole. Investigate the phenomenon and explain what happens when two vortices interact.

2. Vznik víru při úderu

Při úderu do membrány se krátkodobě zvýší tlak uvnitř krabice, což způsobí únik plynu skrz otvor. Pokud je rychlost tohoto úniku dostatečně vysoká, vznikne díky lomu proudu tekutiny na hraně vír ve tvaru toroidu, který je nepříliš ohraničen a který rotuje (uvnitř po směru úniku plynu, na okrajích proti). Tato rotace ho udržuje stabilním, navíc díky ní se také pohybuje ve směru úniku plynu, jelikož okolní vzduch uvnitř má menší statický objem s toroidem, než na okrajích, tedy uvnitř klade okolní vzduch menší odpor jeho rotaci, než na okrajích, neboli na toroid působí větší síly směrem od díry, než k ní (díky směru rotace toroidu), což způsobí pohyb toroidu směrem od díry.

Také záleží na časovém průběhu změny tlaku, dalo by se říct, že závislost úhlové rychlosti rotace toroidu na vzdálenosti od středu rotace je velmi podobná závislosti změny tlaku na ose při vytváření toroidu. čímž můžeme získat toroidy s různým rozdělením rychlosti uvnitř, od pomalu se pohybujících, které mají velmi vysoké rychlosti u středu rotace, ale nízké na povrchu, ty mají tendenci se relativně rychle rozpadnout, díky větší pravděpodobnosti narušení symetrie způsobené velkými rozdíly rychlostí, přes stabilní toroidy, které mají jen o trochu vyšší rychlost u středu rotace, než u povrchu, k velmi rychlým toroidům, které mají mnohem nižší rychlosti poblíž středu rotace, než u povrchu, což také způsobí větší pravděpodobnost narušení jejich symetrie.

3. Srážka dvou vírů

Pokud dojde k přímé elní srážce dvou stejných velkých vírů, letících proti sobě, dochází k jejich interakci. V prostoru mezi nimi mají oba víry tendenci rotovat směrem od osy srážky, takže vzduch mezi nimi má v každém z nich trochu menší odpor k jejich rotaci, protože na něj nepůsobí pouze jeden vír, ale oba. Kdežto na druhé straně vírů, kde

víry mají tendenci rotovat k ose srážky, má vzduch stále podobný odpor k jejich rotaci, jako když víry letí nerušen volným vzduchem, takže síly které působí na oba víry ve směru od osy srážky jsou v tšii, než síly, které působí k ose srážky, takže se oba víry za sebou rozšiřovat po rovině kolmé k ose srážky. Samozřejmě se velmi jednoduše stane, že se naruší symetrie vír, což má za následek rozpad obou vír.

Obrázek 1: směr rotací vír při srážce proti sobě

Pokud se srazí dva víry, které letí za sebou, také dojde k jejich interakci. Pokud jsou stejně velké, a tvarem jednoho lze pomocí translace po ose srážky překrýt tvar druhého, pak díky jejich rotaci nastane zvláštní situace. Rychlejší vír se zmenší a propluje skrze pomalejší, který se se zvětší (z podobných důvodů jako při srážce proti sobě), bohužel pravděpodobnost, že při této akci se naruší symetrie vír je natolik vysoká, že v absolutní většině srážek dojde k rozpadu obou vír.

Obrázek 2: směr rotací vír při srážce za sebou

Při srážkách kdy je rychlost rotace jednoho toroidu v daném vzduchu výrazně vyšší, než rychlost rotace druhého, a navíc srazí-li se pouze menšinou objemu, dochází k ustálení části pomalejšího toroidu, čímž se pomalejší toroid velmi rychle rozpadne. Rychlejší toroid sice může při velkých rozdílech rychlosti pokračovat dál, ale srážka s pomalejším toroidem naruší jeho symetrii, což způsobí urychlení jeho rozpadu. Pokud dojde ke srážce v větší části objemu dochází k většímu narušení symetrií.

Obdobně při srážkách kdy jeden vír narazí do druhého z boku, dojde k velkému narušení symetrie obou vír. Pouze pokud jeden toroid rotoval výrazně rychleji než druhý, je možné, že narušení jeho symetrie

je menší, než když až neznatelné.

4. Experimenty

4.1. Experimenty s jednou krabicí

Zkonstruovali jsme několik aparatur různých tvarů a velikostí. Ke zvýraznění výení jsme používali dým z kalafuny, salmiaku a z papíru, nejlépe se osvědčil dým z papíru. Také se nám osvědčilo svítit jasným smrovým světlem na prostor, do kterého jsme vysílali víry, ale zastínit od něj černé pozadí za tímto prostorem. Po klepnutí do membrány jsme při vhodných parametrech aparatury pozorovali jednak obláček dýmu, který unikl před otvor, ze kterého se velmi rychle oddělil útvar ve tvaru toroidu. Jeho velikost přibližně odpovídala velikosti otvoru. Část povodního obláčku vytvářela relativně úzkou stopu toroidu. Při návratu membrány byl pozorovatelný, díky průhlednosti některých aparatur, toroid istého vzduchu, který putoval skrze krabici směrem k membráně, dokonce měl i tendenci doputovat k místu, kam bylo na membránu udeřeno. Tento toroid rotoval okolo kružnice, která spojovala středy kruhů tvořících toroid, takže na vnitřním obvodu toroidu rotoval od krabice, na vnějším ke krabici. Putoval směrem od krabice, jeho rychlost viditelně závisela na rychlosti změny tlaku uvnitř krabice, jeho životnost byla delší, pokud jeho rychlost byla menší.

Tvar použité krabice se zdál irelevantní k výsledku, pokud byl volný prostor hranolu mezi otvorem a membránou (jednou z jeho základů byl otvor). Její velikost se také zdála být nezávislou. Toroid vznikl pouze pokud tvar otvoru byl přibližně kruhového tvaru (např. čtverec, rovnostranný trojúhelník, nebo i tvar srdce), jindy vynikl nepravidelný útvar, který se velmi rychle rozplynul. Jako membránu jsme vyzkoušeli použít postupně různé materiály: nafukovací balónek, kondom, igelitový pytlík, papír. Nezjistili jsme žádné větší rozdíly ve výsledcích, tak jsme zkusili použít místo membrány píštěl, a zjistili jsme, že lze vytvářet stejné útvary i s píštěl. Při pozdějších experimentech s membránami jsme použili elektromagnet k přitáhnutí mince, která byla přilepena k membráně, a následně jsme elektromagnet odpojili, což mělo velmi podobný efekt, jako úder do membrány, čímž jsme získali vcelku dobře nastavitelné zařízení na produkci víry. Směr toroidu se zdál být téměř plně nezávislý na místě úderu na membránu, pokud byl poměr velikosti membrány ku ve-

likosti otvoru relativně velký oproti poměru velikost membrány ku vzdálenosti otvoru od membrány. Ke stabilitě toroidu byl nezbytný klidný vzduch v místě experimentování.

4.2. Experimenty se dvěma krabicemi

Při zkoumání interakce dvou toroidů jsme používali stejné krabice jako při zkoumání toroidu samotného. Velmi se hodila varianta s elektromagnetem, jelikož nebyl díky elektromagnetu problém s nasazováním výletu toroidu.

4.2.1. Oba toroidy putují stejným směrem

Pokud rychlejší toroid dostihl toroid, který putuje stejným směrem (byl vyslán ze stejné díry), a zároveň byli toroidy podobných velikostí, záleželo pak na míře soustřednosti toroidů. Pokud byli relativně soustředné, pak v tšinou oba velmi rychle zkolabovali směrem do svých středů. Občas se stalo, že jeden se rozšířil, druhý zkolaboval do svého nitra. Pokud byli vzájemně dost nesoustředné, a jeden z nich byl podstatně rychlejší než druhý, pak tento rychlejší ustoupil část pomalejšího, který se pak pomalu samovolně rozpadl, a pokračoval, jako by se nic nestalo.

4.2.2. Toroidy putovali přímo proti sobě

Pokud jeden z toroidů byl výrazně rychlejší, než druhý, putoval v tšinou tento toroid téměř nerušen dále, občas se jen trochu rozšířil, což ale zkracovalo jeho životnost, zatímco druhý toroid se na následky střetu s rychlejším toroidem velmi rychle rozpadl, přičemž měl tendenci se rozpínat. Pokud se ale setkali jen menšími částmi, buď se rozpadli úplně, nebo jen rychlejší ustoupil kus pomalejšího (obdobně, jako když putovali za sebou).

Nejzajímavější úkaz nastal, pokud měly oba podobné rychlosti postupu vzduchem, a navíc se setkali téměř celým objemem. Oba toroidy se velmi rychle začaly rozpínat kolmo ke směru srážky, přičemž se velmi zúžila vára, kterou tvořily, což podporovalo dojem splynutí obou toroidů, ale při bližším pohledu je bylo stále vidět oddělení. Zajímavé bylo, že pokud byly toroidy jen mírně nesoustředné, pak se rozšiřovali podél osy jejich středů.

4.2.3. *Ostatní srážky*

V ostatních smrech srážek se neobjevili žádné hezké situace, pouze se občas povedlo ustelit kousek jednoho toroidu druhým, v ostatních případech se oba toroidy velmi rychle rozpadly.

5. Podkování

Naše podkování patří především panu Doc. RNDr. Janu Obdržálkovi CSc. z Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze za konzultování celého problému, dále pak Knihovně Akademie v České republice za jejich služby v oblasti výpůjček publikací.

