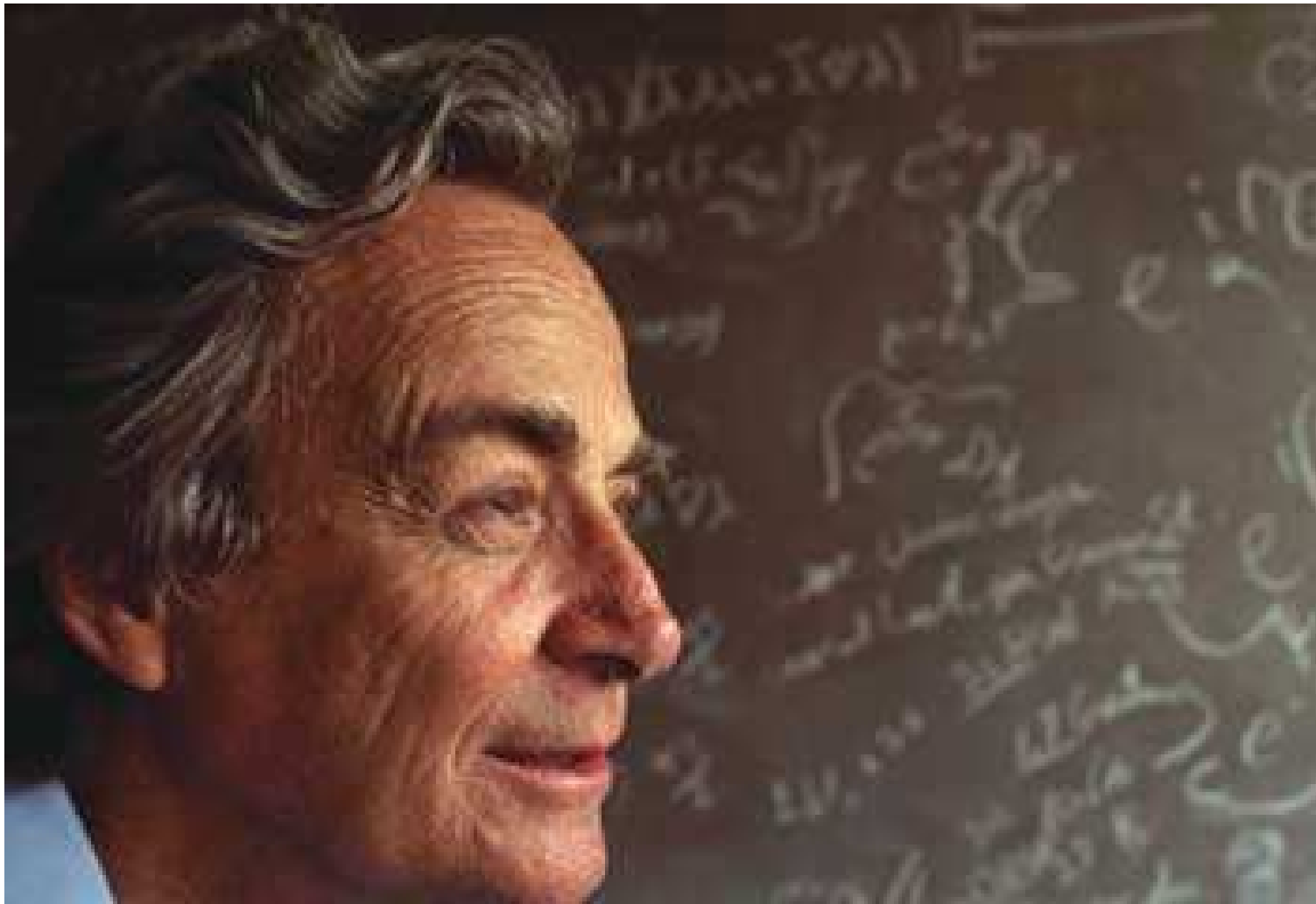


Feynmanův inverzní rozprašovač



Richard Phillips Feynman

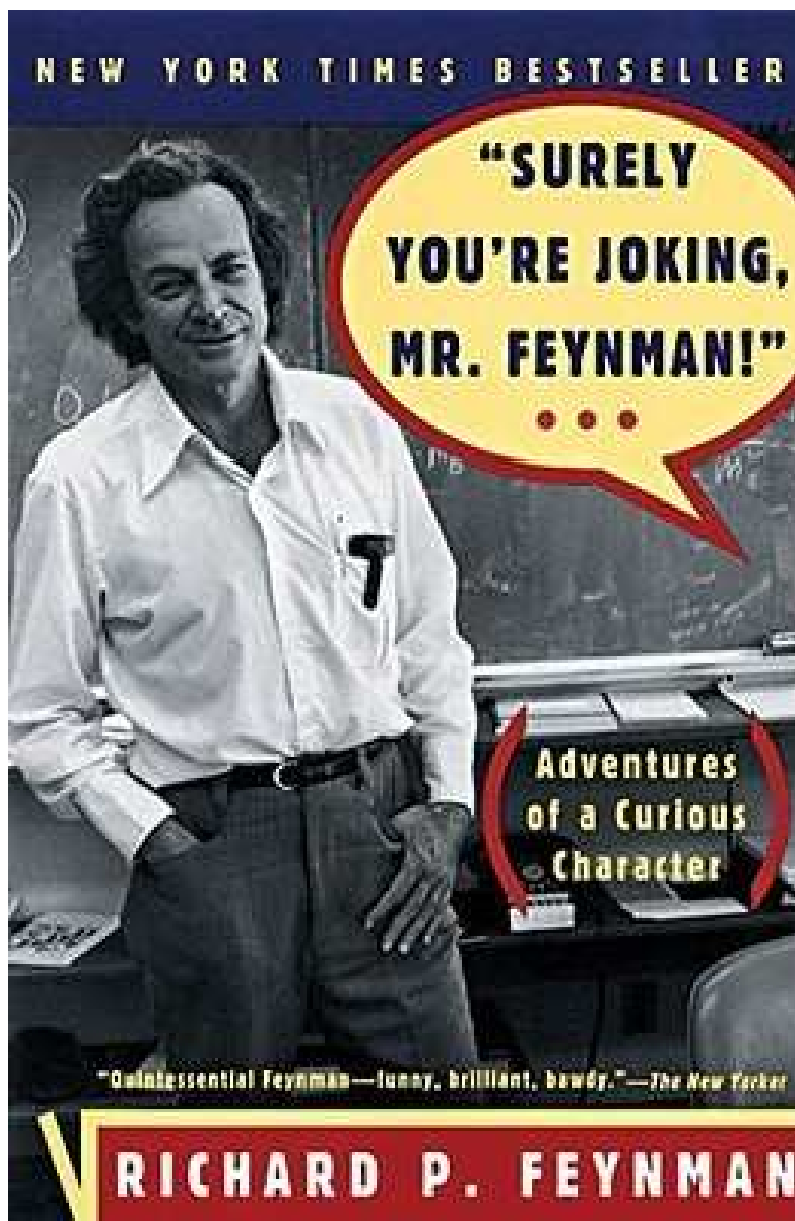
11. května 1918 – 15. února 1988

- Práce v oblasti kvantové elektrodynamiky, supratekutosti kapalného hélia, částicové fyziky (partony), Feynmanova formulace kvantové mechaniky pomocí dráhových integrálů, Feynmanovy diagramy.....
- 1965- Nobelova cena spolu s Julianem Schwingerem a Sin-Itiro Tomonagou za přínos ke kvantové elektrodynamice

Popularizační literatura

- * Feynmanovy přednášky z fyziky
- * To nemyslíte vážně, pane Feynmane!
- * Snad ti nedělají starosti cizí názory (ISBN 80-85974-90-8)
- * O smyslu bytí (ISBN 80-7299-026-8)
- * Radost z poznání (ISBN 80-7299-068-3)
- * O povaze fyzikálních zákonů (ISBN 80-85974-86-X)
- * Neobyčejná teorie světla a látky: kvantová elektrodynamika (ISBN 80-7299-045-4)

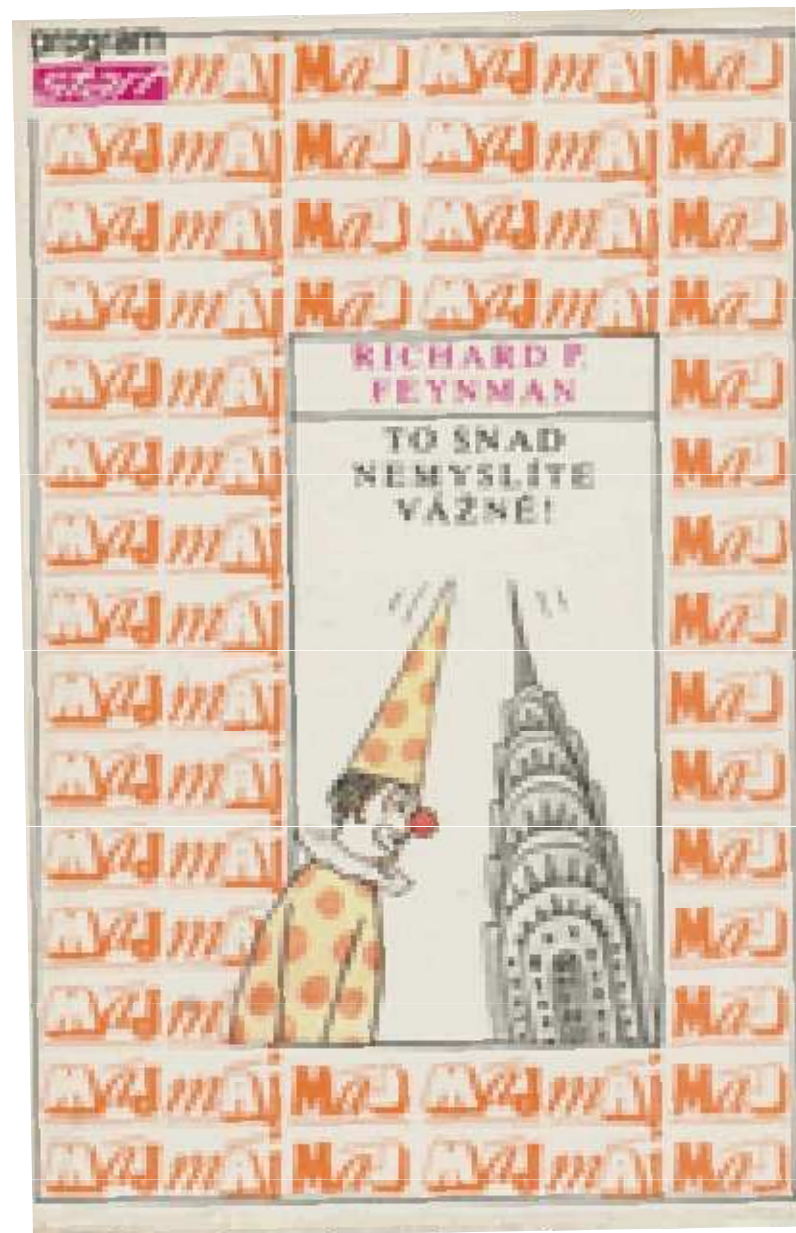




Richard Phillips Feynman

* 11. května 1918

† 15. února 1988



Nakladatel:

Mladá fronta

Rok vydání:

1989

ISBN:

80-204-0023-0

Formulaci tohoto problému lze nalézt už v knize Ernsta Macha **Die Mechanik in ihrer Entwicklung** z roku 1883.



PROFESSOR ERNST MACH

1838 - 1916

DIE MECHANIK
IN IHRER ENTWICKELUNG

HISTORISCH-KRITISCH DARGESTELLT

VON

DR. ERNST MACH,

PROFESSOR DER PHYSIK AN DER DEUTSCHEN UNIVERSITÄT SU PRAG.

MIT 250 ABBILDUNGEN.



LEIPZIG:
F. A. BROCKHAUS.

1883.

Die Mechanik in ihrer Entwicklung , str. 276-280, ilustrace experimentálních aparatur

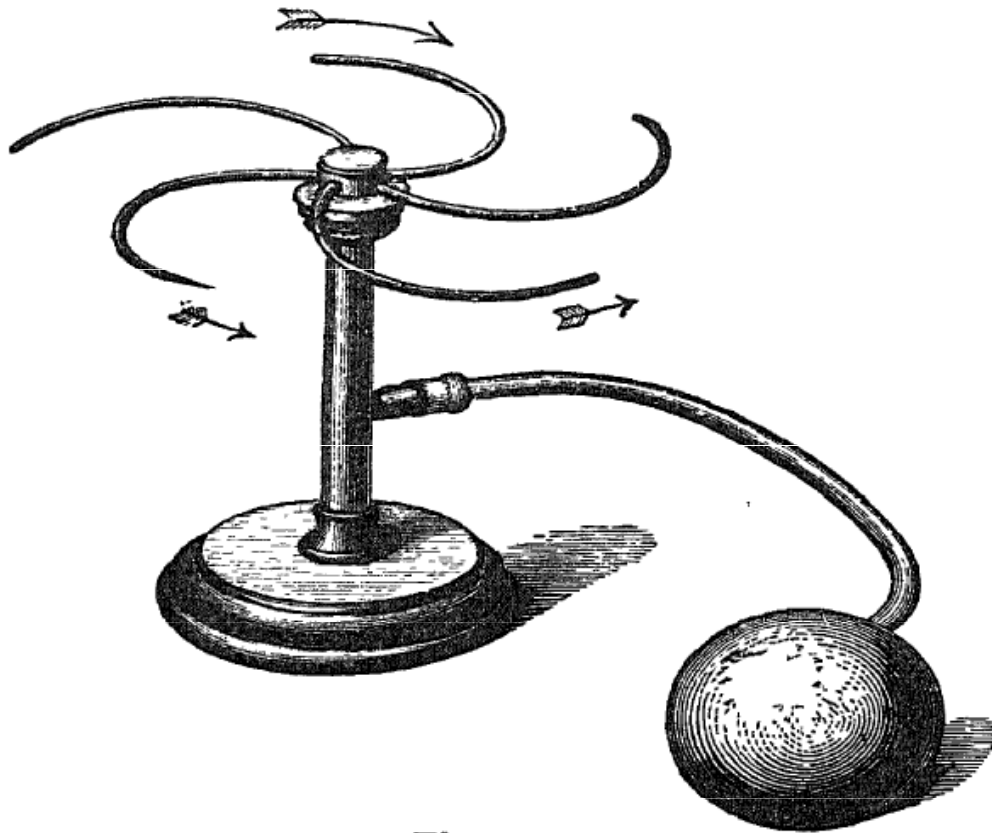


Fig. 153 a.

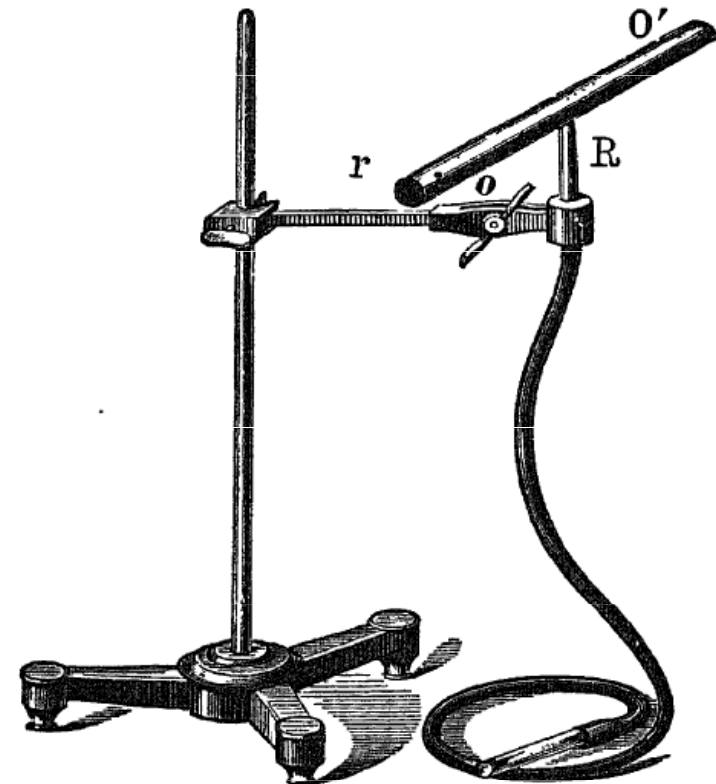
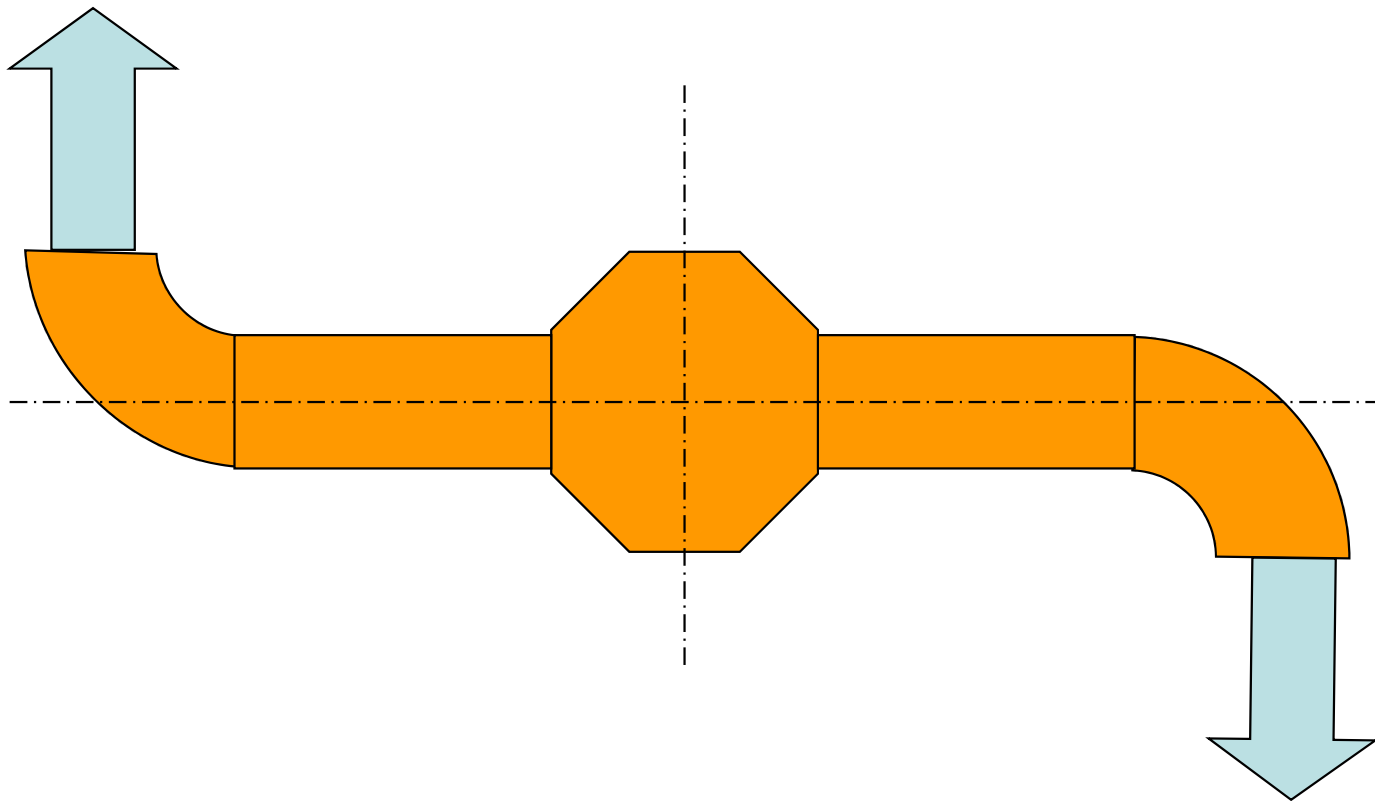


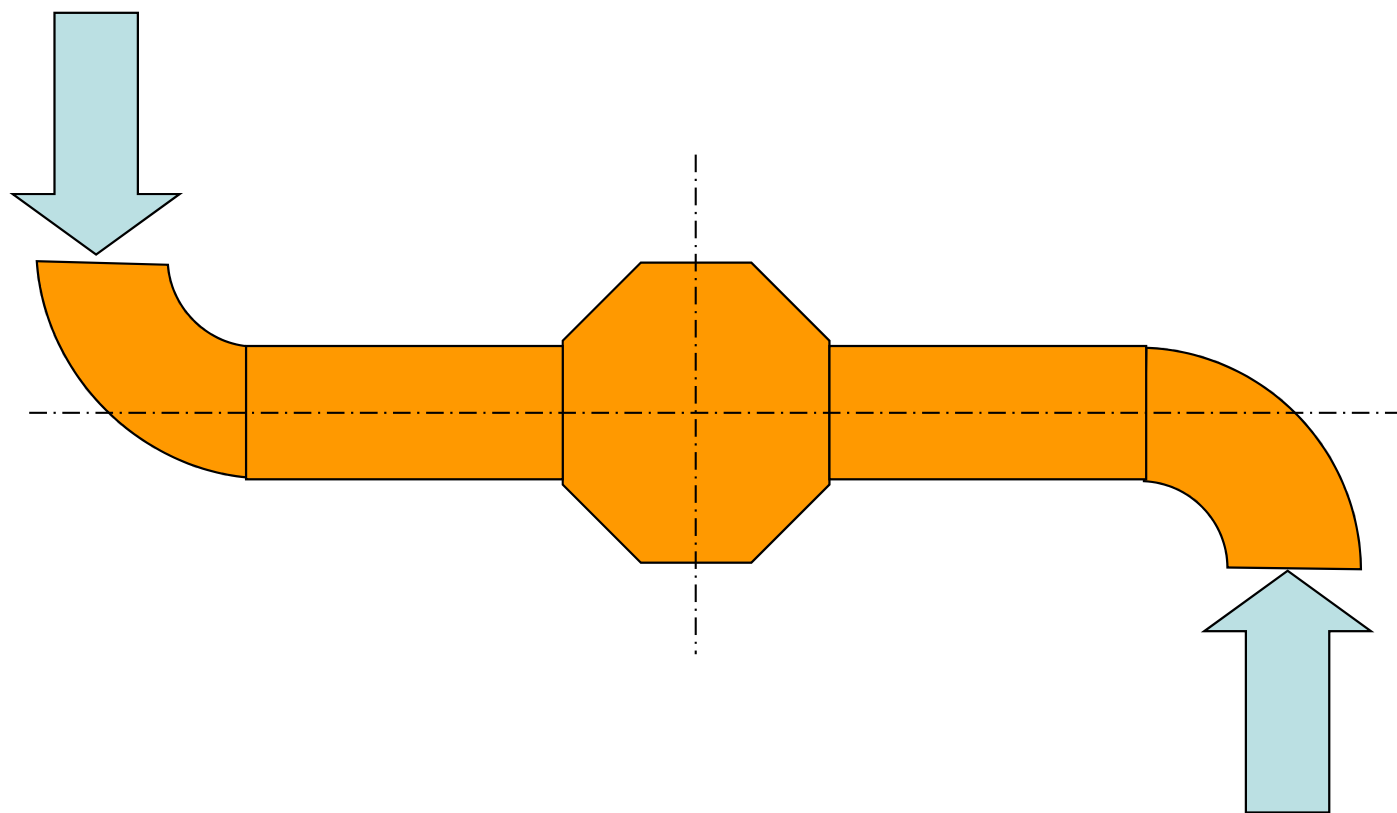
Fig. 153 b.

Feynmanův inverzní rozprašovač

Jednou jsem experimentoval v princetonské cyklotronové laboratoři s dosti otřesným výsledkem. V jedné knize o hydrodynamice se vyskytoval problém, který tenkrát rozebírali všichni studenti fyziky. Problém zní takhle: máte rozprašovač vody na trávnický – kus trubky ve tvaru S, který se může otáčet kolem svého středu –, voda stříká ven v pravém úhlu k ose a způsobuje otáčení trubky v určitém směru. Každý ví, ve kterém:



Otázka zní takto: Kdybyste měli jezero nebo bazén – spoustu vody – a ponořili rozprašovač zcela do vody a nasávali jím vodu dovnitř, místo abyste ji stříkali ven – kterým směrem se roztočí? Bude se to otáčet stejně, jako když rozprašujete vodu na vzduchu, nebo opačně?



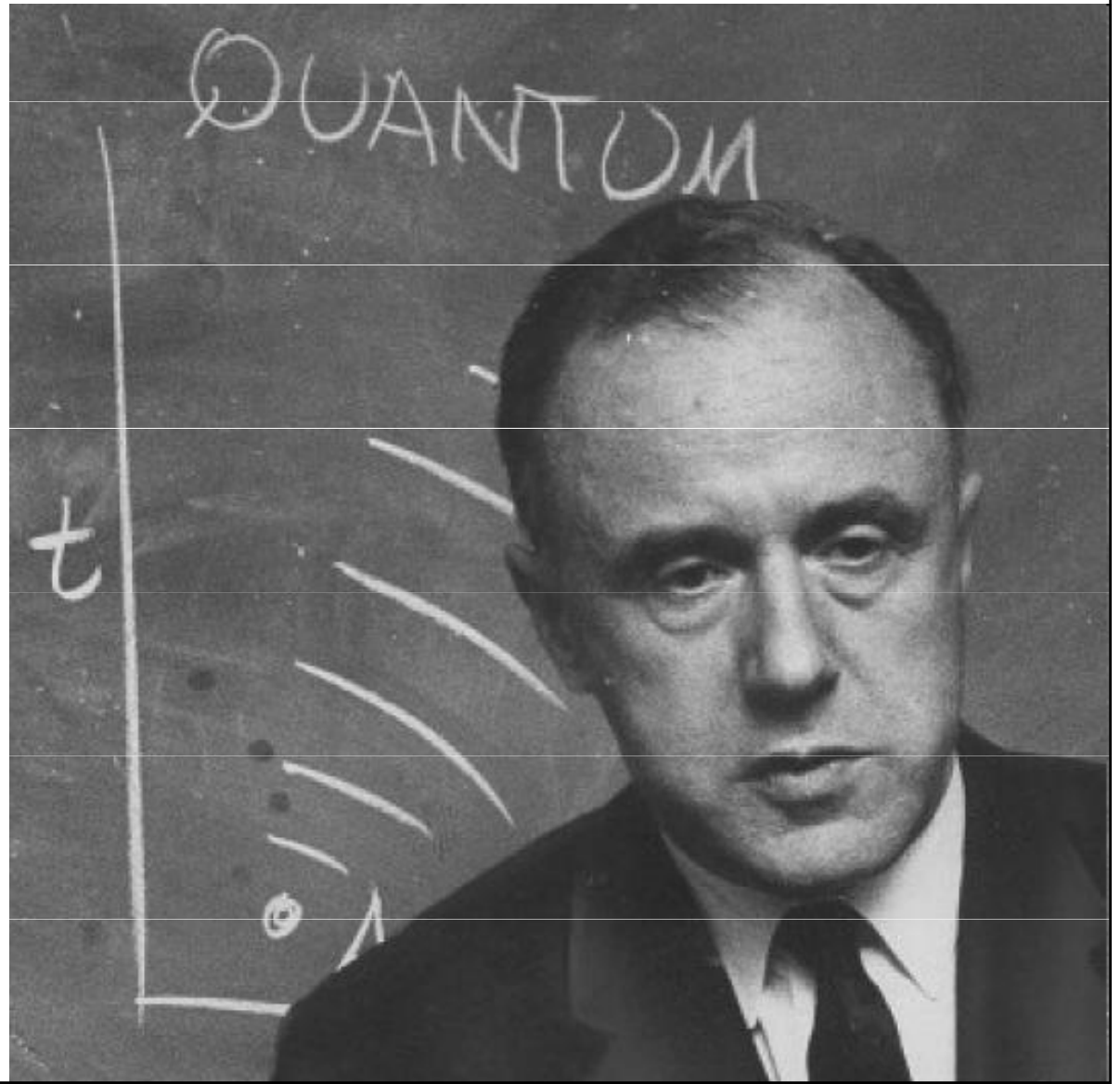
Na první pohled je odpověď úplně jasná. Potíž byla v tom, že jednům bylo jasné, že se bude otáčet takhle, a druhým bylo stejně jasné, že se bude otáčet naopak. Všichni to tedy rozebírali a pamatují se, že na jednom semináři nebo čaji šel někdo k profesoru **Johnu Wheelerovi** a zeptal se ho: „Jakým směrem si *vy* myslíte, že se to bude točit?“

Načež Wheeler řekl: „Včera mě Feynman přesvědčil, že se to bude točit jedním směrem. Dneska mě zase přesvědčil, že se to bude otáčet právě naopak. Jak se to bude točit zítra – to nevím.“

Řeknu vám důvody, které vás přesvědčí o otáčení jedním směrem, a jiné důvody, které vás přesvědčí, že to má být právě naopak.

John Archibald Wheeler (9. července 1911
Jacksonville, USA - 13. dubna 2008)

- Následovník Alberta Einsteina na Princetonu



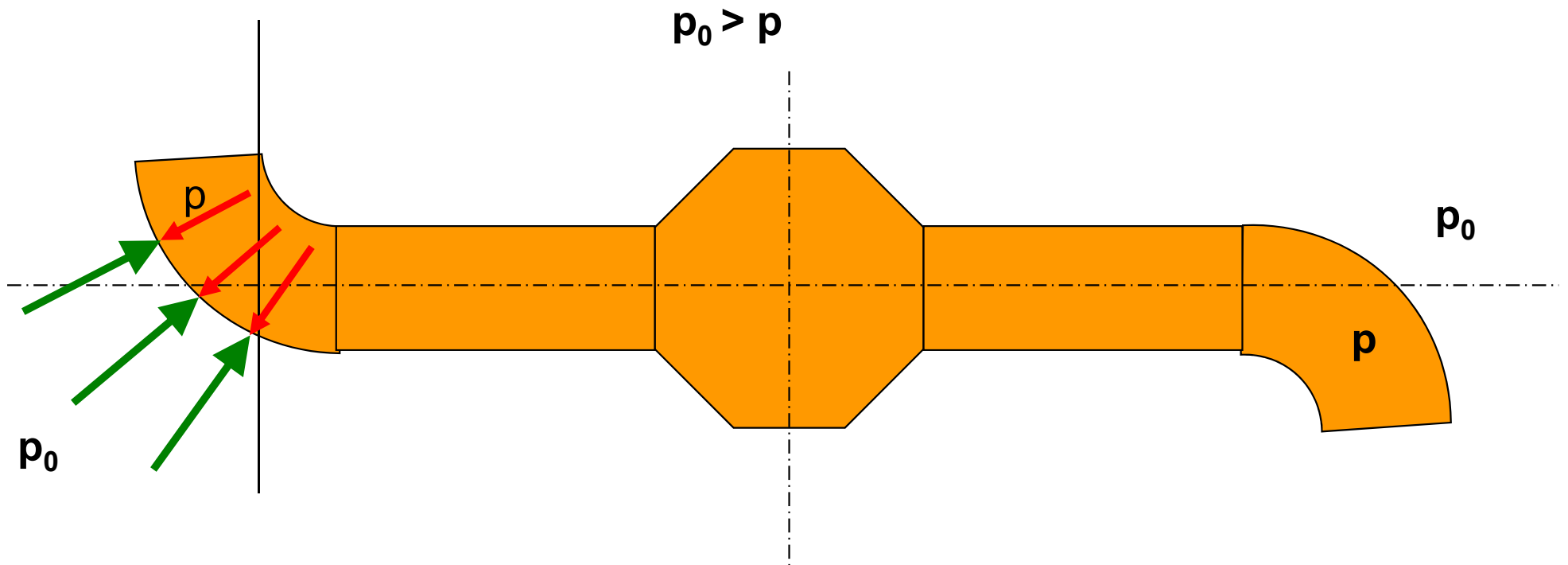
Prvé zdůvodnění spočívá v tom, že když sajete vodu, tak ji vlastně vtahujete dovnitř tryskou, a tryska se tedy bude pohybovat dopředu, vstříc přicházející vodě.

Jenomže pak přijde někdo jiný a řekne: „Představme si, že rozprašovač držíme nehybně – jaký silový moment k tomu potřebujeme? Když voda tryská ven, tak všichni víme, že musíme tlačit na vnějším oblouku trubky, vzhledem k odstředivé síle vody, která její zakřivení sleduje. Když teď voda poteče podél stejné křivky, ale *opačně*, bude působit stejnou odstředivou silou směrem k vnějšmu okraji oblouku. Proto jsou oba případy vlastně totožné a rozprašovač se bude otáčet stejným směrem, ať z něj vodu stříkáte, nebo ať ji sajete dovnitř.“

Nějakou dobu jsem si s tím lámal hlavu a pak jsem se konečně rozhodl, která z odpovědí je správná, a abych to prokázal, chtěl jsem provést experiment.

jeden pohled

- při nasávání tekutiny musí být v trubici podtlak. Tlakové síly působící na vnitřní a vnější povrch jsou tedy různě velké a skládají se do výslednice otáčející rozprašovačem otvory **napřed**.



jiný pohled

sledujme element tekutiny v určitém místě
kolena v situaci, kdy

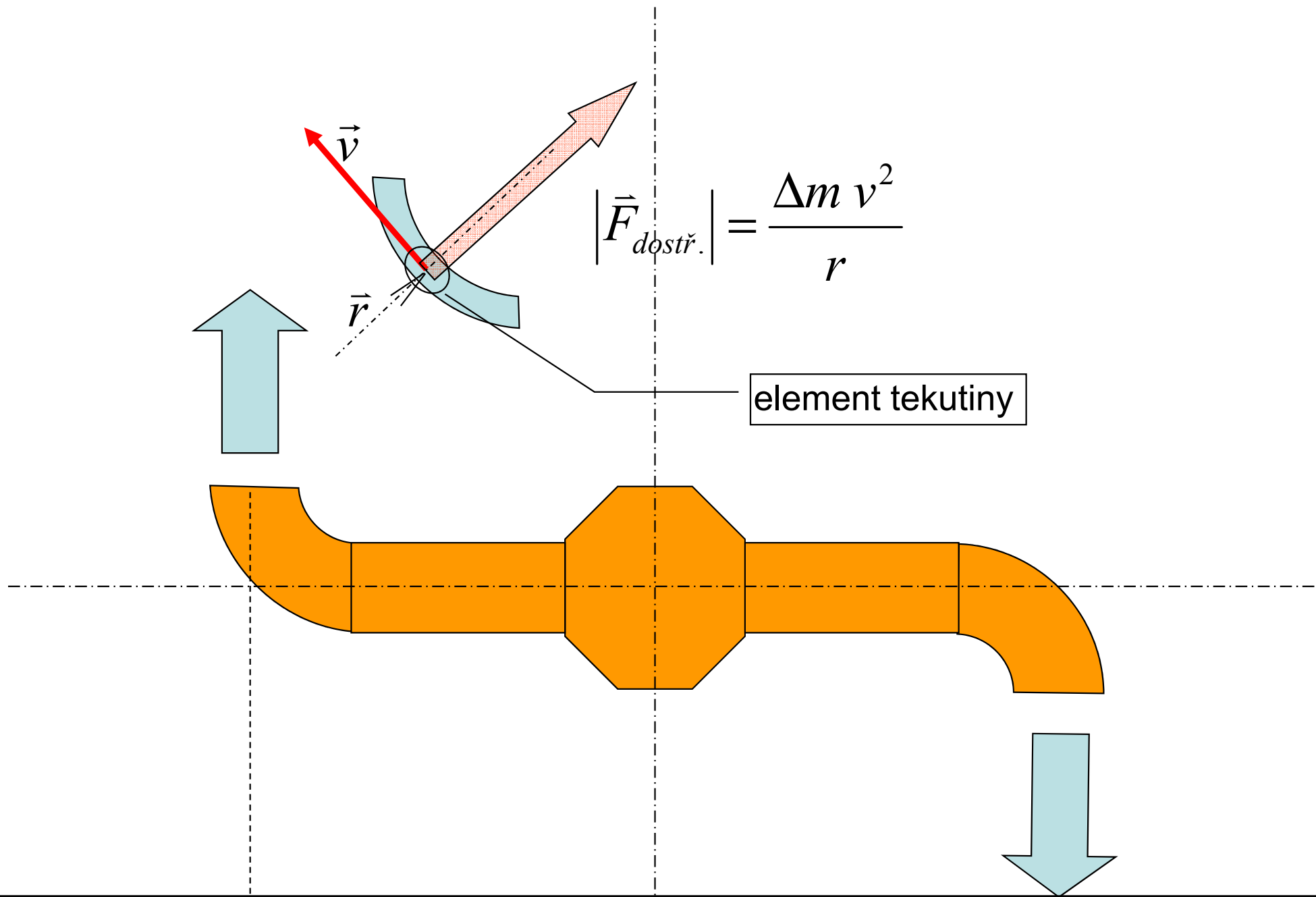
a) tekutina tryská ven

b) je nasávána

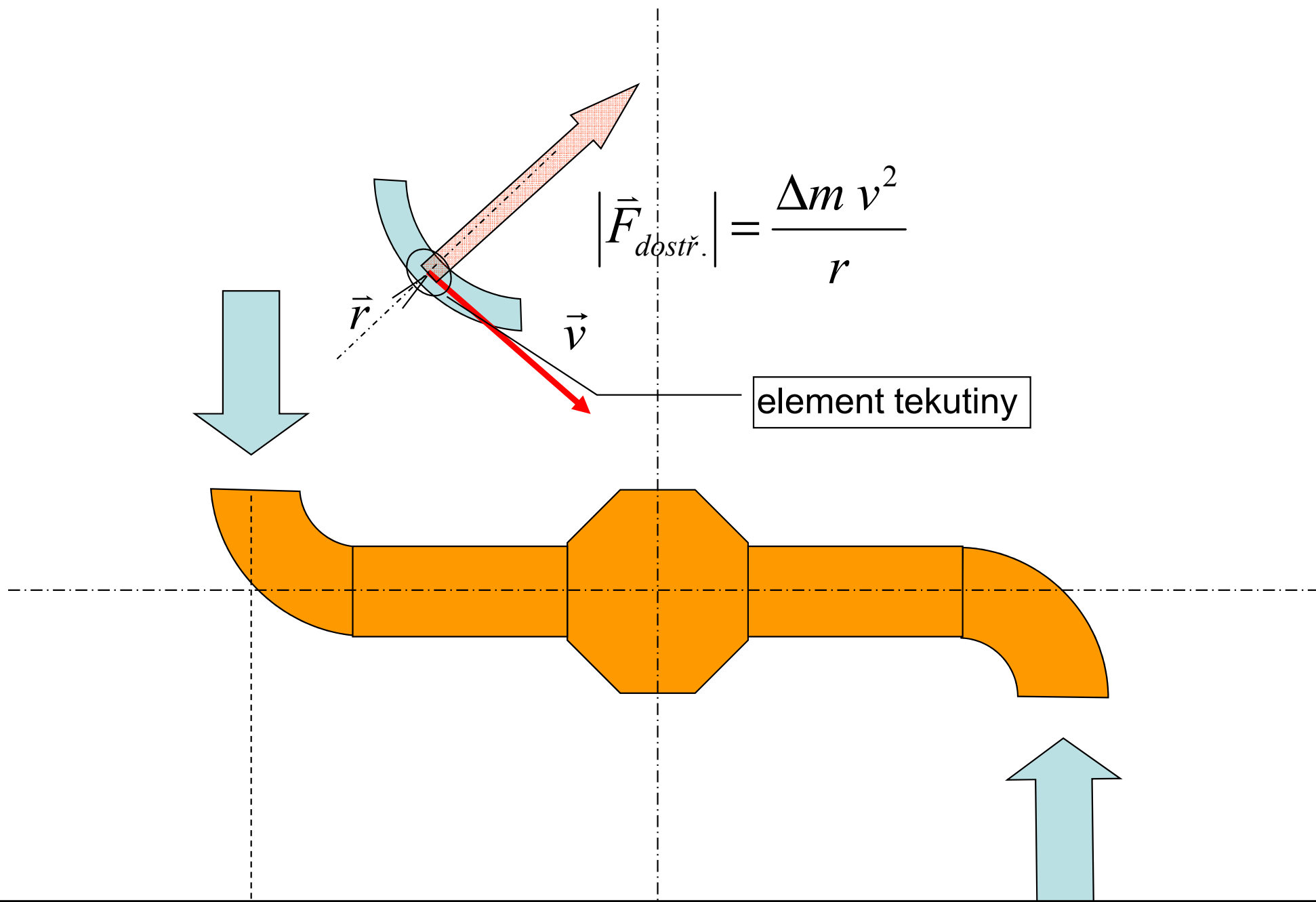
stejnou rychlostí.

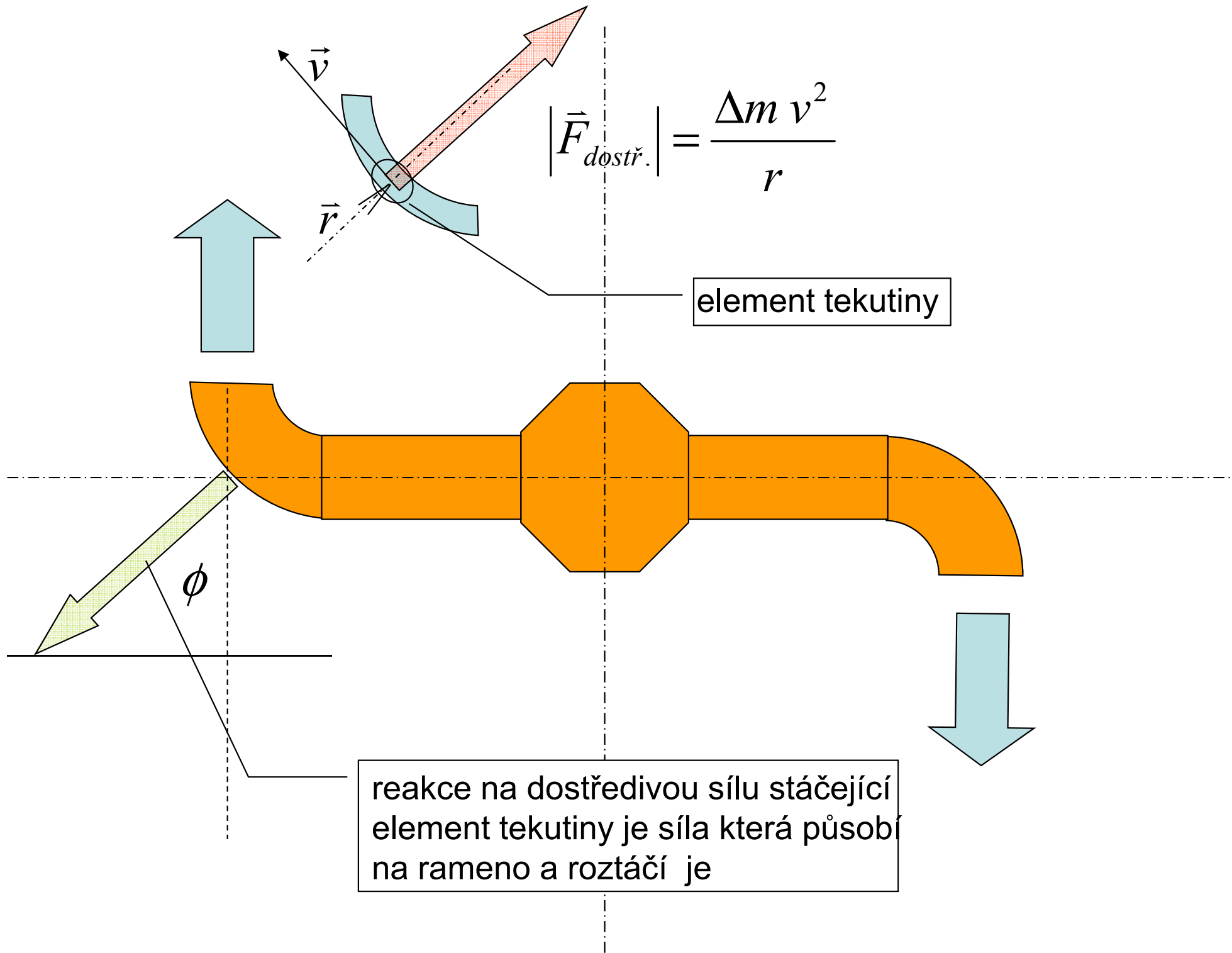
V obou případech na element působí stejná
dostředivá síla

a) tekutina tryská ven



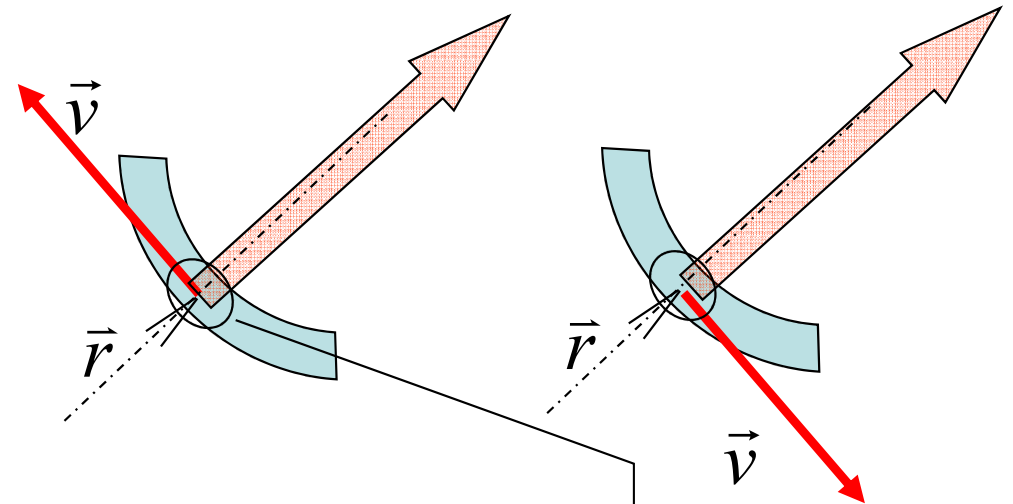
a) tekutina je nasávána





Z tohoto hlediska, ať už je tekutina nasávána nebo vystřikována, by se měla trubice otáčet stejným směrem.

$$|\vec{F}_{dostř.}| = \frac{\Delta m v^2}{r}$$

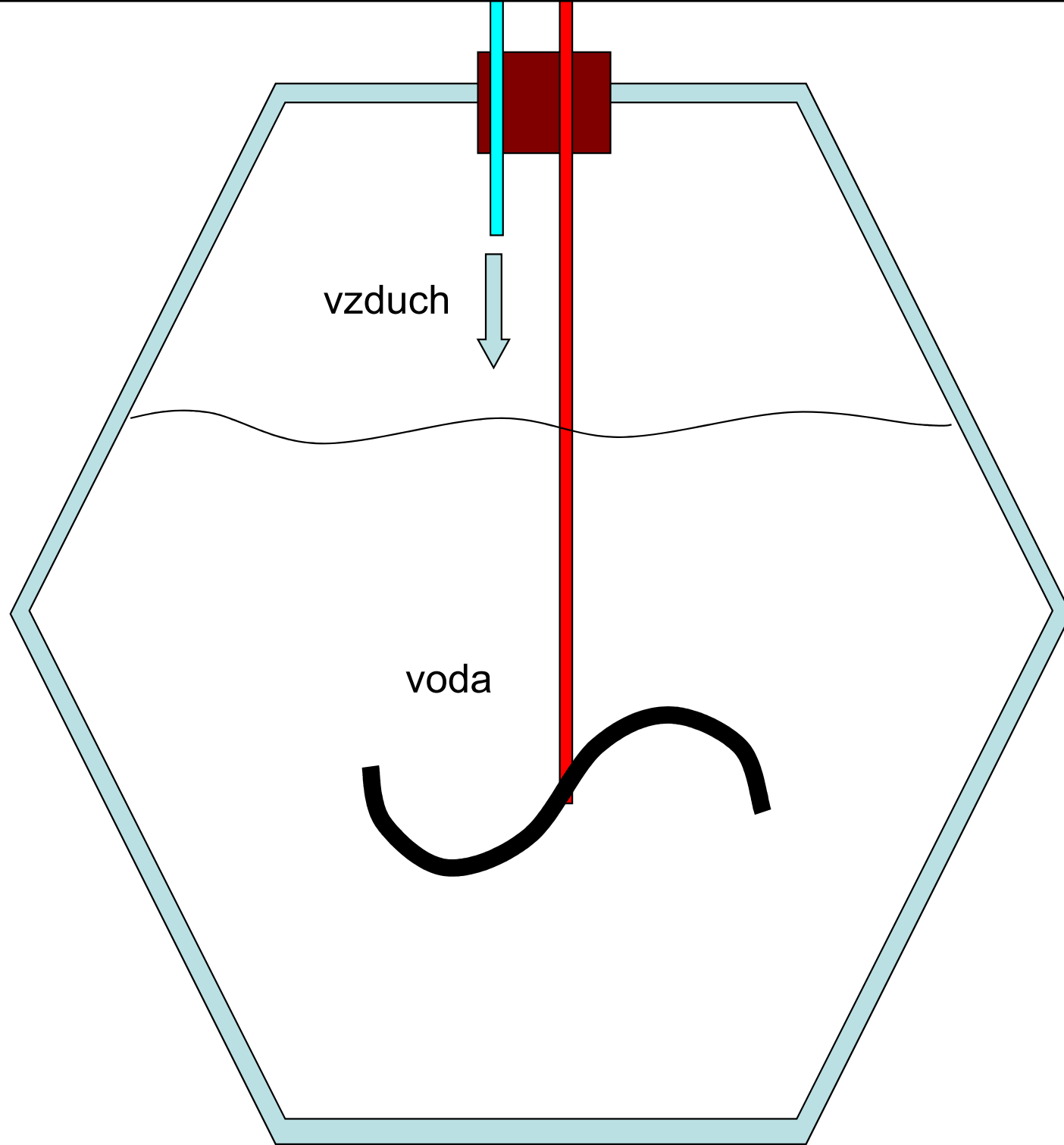


velikost dostředivé síly působící na zvolený element tekutiny **nezáleží** na směru proudění v trubici. Tedy ani síla působící na trubici na směru proudění **nezáleží**

zvolený element tekutiny

V princetonské cyklotronové laboratoři měli ohromný demižon – obrovskou láhev s vodou. Řekl jsem si, že je jako stvořená pro můj experiment. Vzal jsem kus měděné trubky a ohnul ji do tvaru S. Doprostřed jsem vyvrtal díru, vsunul do ní kus gumové hadice a tu jsem pak vyvedl nahoru, ven z láhve, skrz otvor v korkové zátce, kterou jsem láhev uzavřel. Zátka měla ještě druhý otvor, do něhož jsem zavedl druhou hadici, a tu jsem napojil na rozvod tlakového vzduchu v laboratoři. Vháněním vzduchu do láhve jsem vytlačoval vodu do měděné trubky přesně tak, jako kdybych ji nasával. Vzhledem k nasazené elastické gumové hadici se sice ta S-trubka nemohla otáčet, ale mohla se zkroutit; rychlost vodního proudu jsem chtěl zjistit změřením výšky, do níž bude voda vystřikovat ven z láhve.

Když jsem měl všechno připravené, zapnul jsem přívod vzduchu, načež se ozvalo: „*Puúp!*“ Tlak vzduchu vyrazil korkovou zátku z láhve. Pevně jsem ji tedy přidrátovával, aby nemohla vyskočit, a experiment pak probíhal bezvadně. **Voda vystřikovala ven a hadice se kroutila,** takže jsem trošku zvýšil tlak vzduchu, protože při větší rychlosti by bylo měření přesnější. Měřil jsem pečlivě úhel a výšku, zase jsem zvýšil tlak, a najednou všechno explodovalo a voda a sklo se rozprskly po celé laboratoři. Kamarád, který se přišel podívat, byl tak mokrá, že se musel jít domů převléci (a jenom zázrakem nebyl pořezán střepinami). Spousta snímků z mlžné komory, trpělivě pořizovaných při cyklotronových experimentech, byla promočená, jenom já jsem z nějakého důvodu stál natolik daleko nebo v takovém místě, že jsem zůstal celkem



vzduch

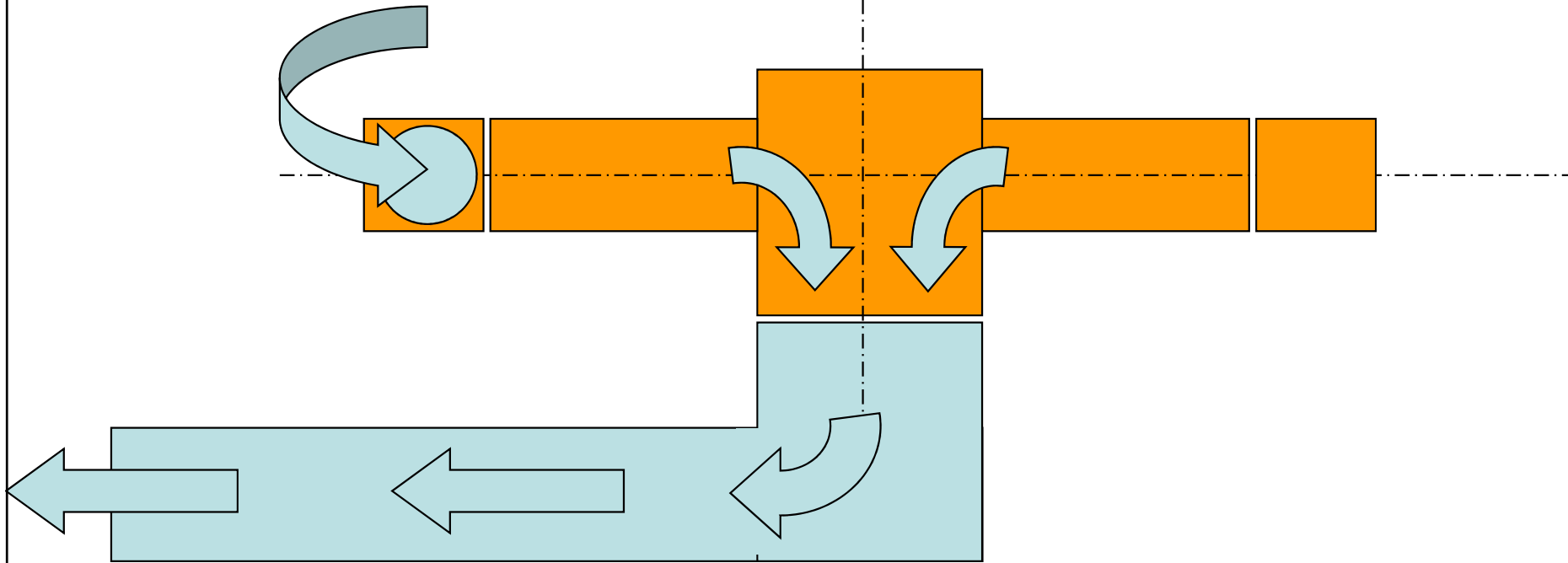
voda

suchý. Ale nikdy nezapomenu, jak slavný profesor Del Sasso, který měl cyklotron na starosti, přišel za mnou a řekl přísně: „Prváci experimentují v laboratořích pro prváky!“

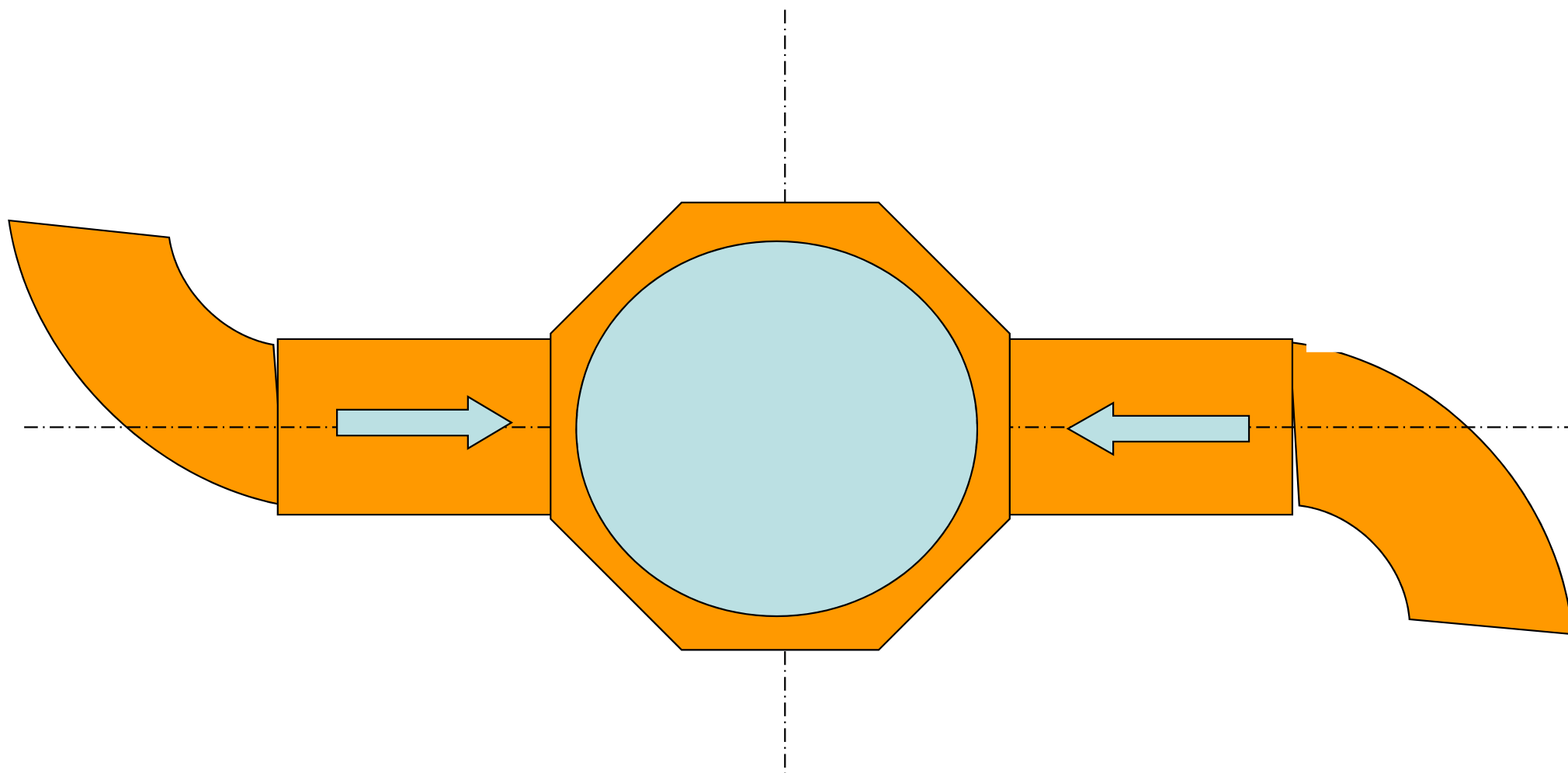
shrnutí

- Trubice se otáčela
- výsledek odpovídal teoretické predikci.

experiment



schématický pohled na otočnou část zespođu



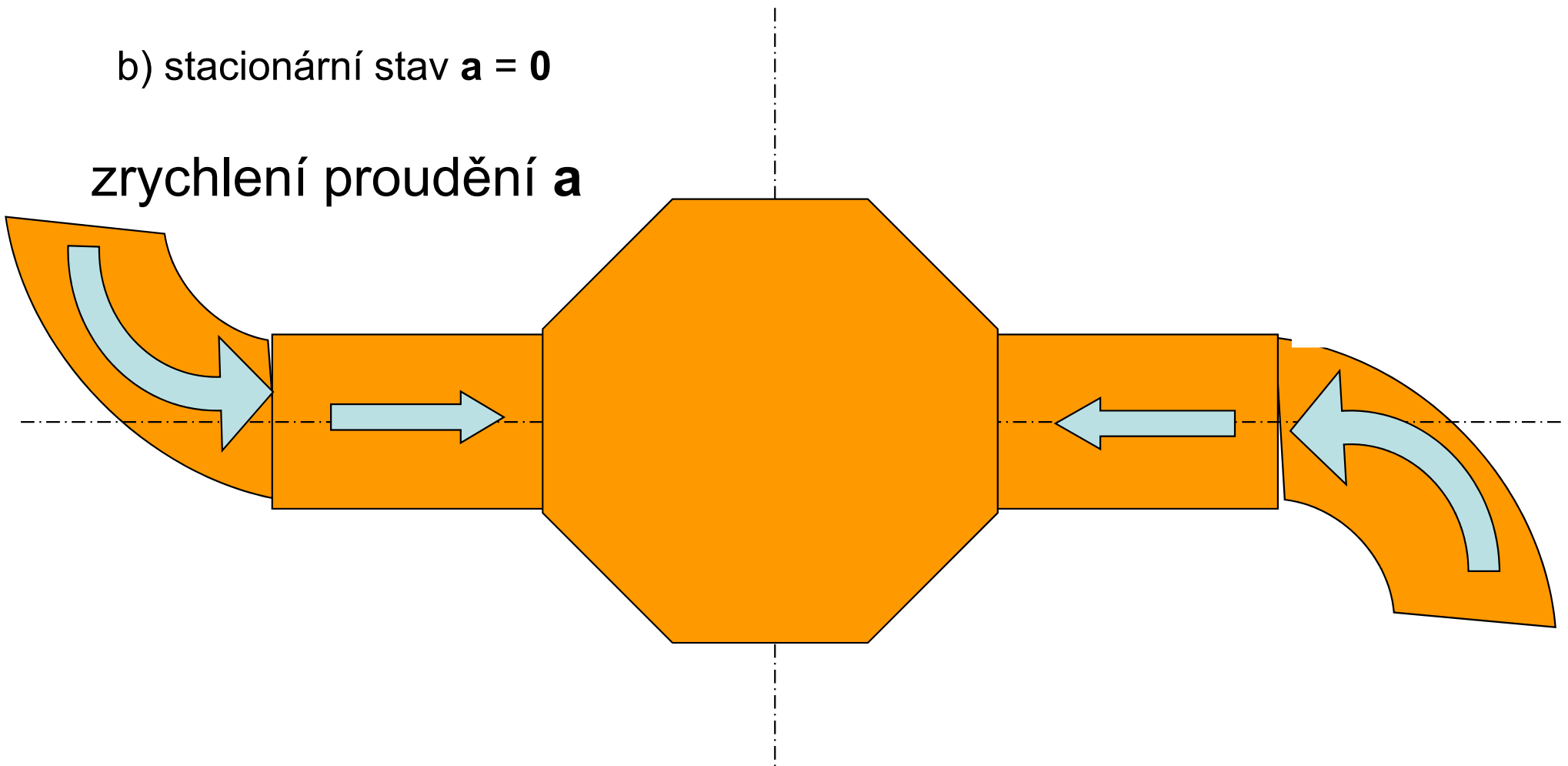
experiment

co je třeba rozlišit?

a) přechodový jev, když se proudění rozbíhá $a \neq 0$

b) stacionární stav $a = 0$

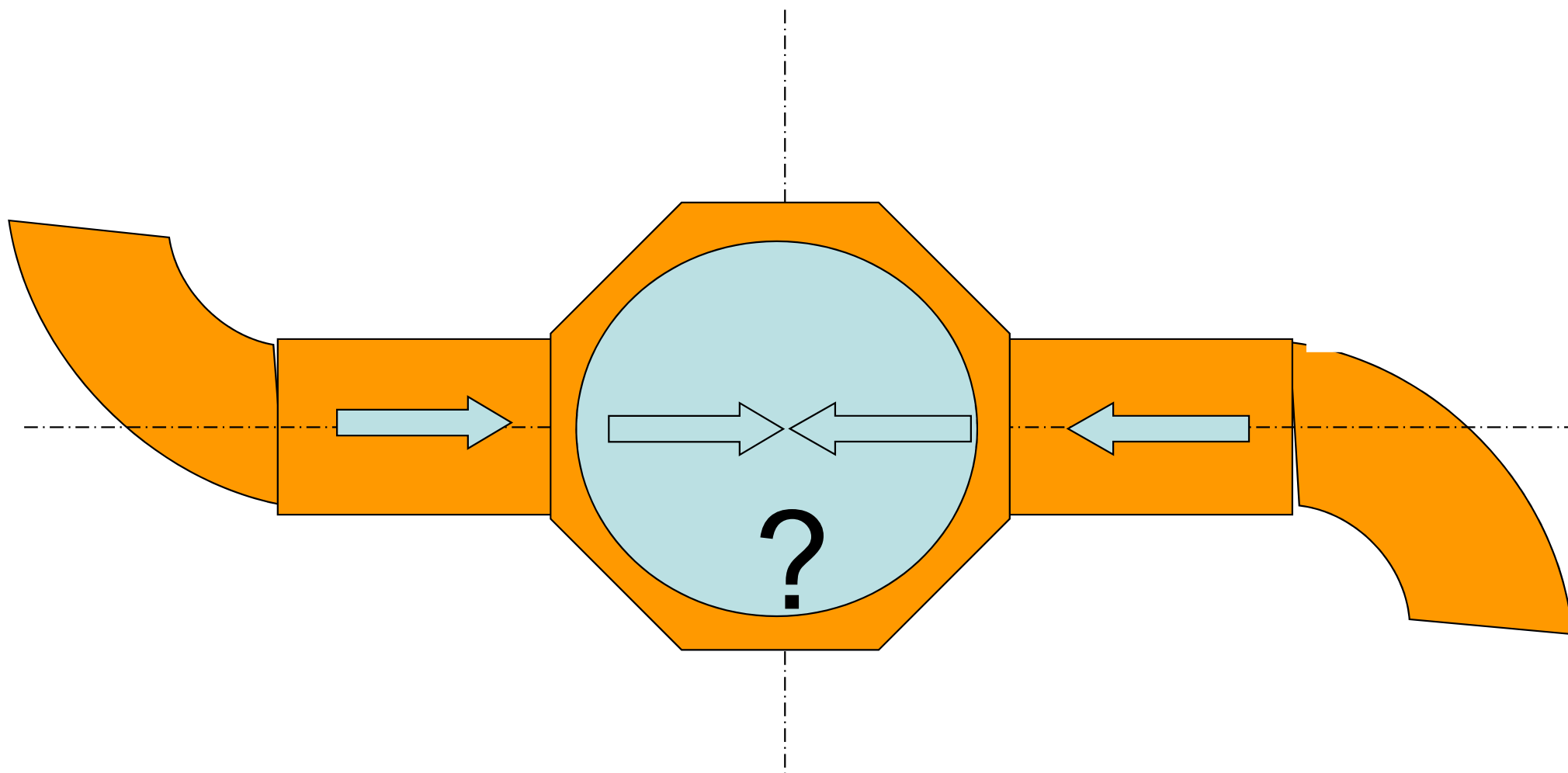
zrychlení proudění a



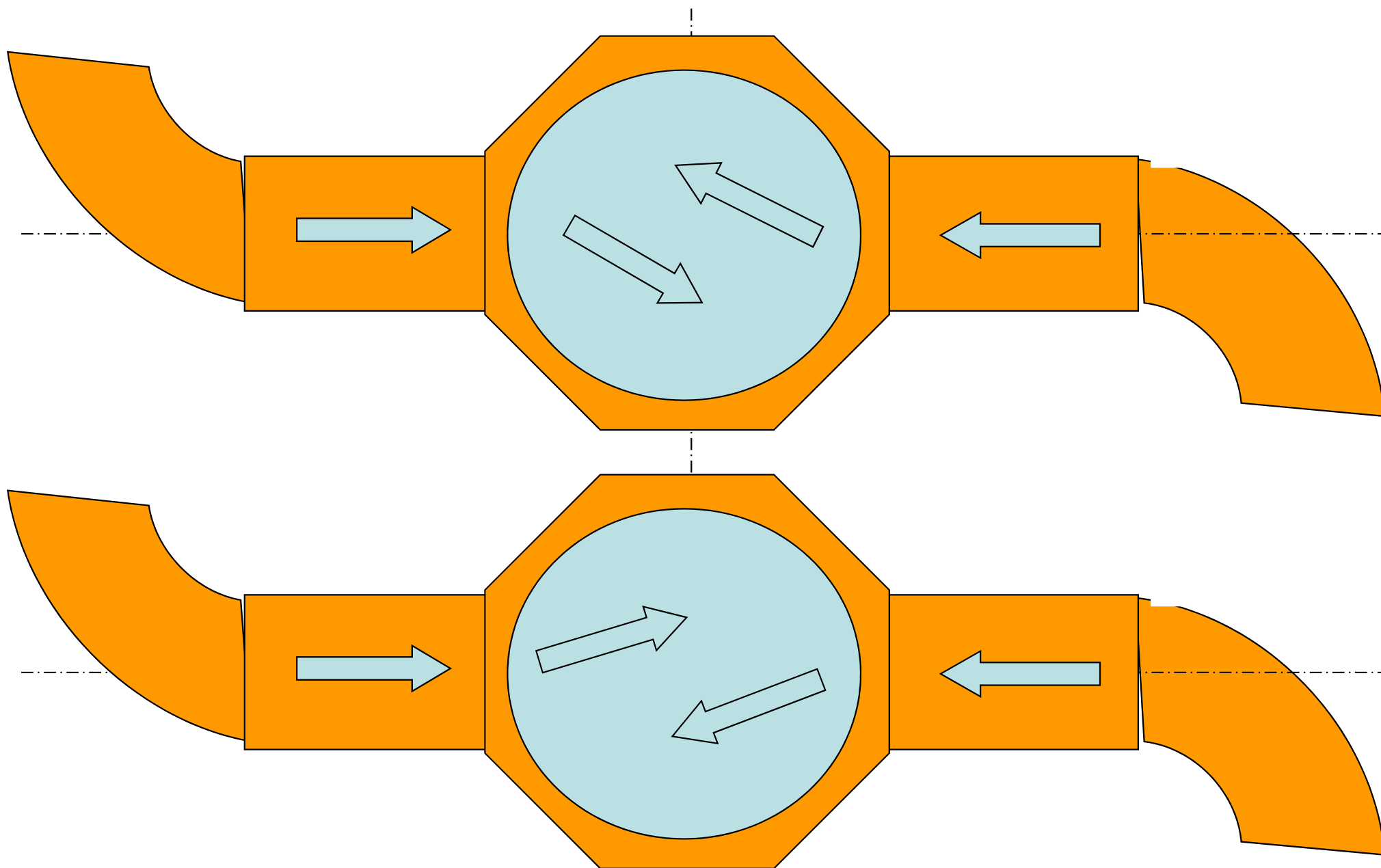
Otázky

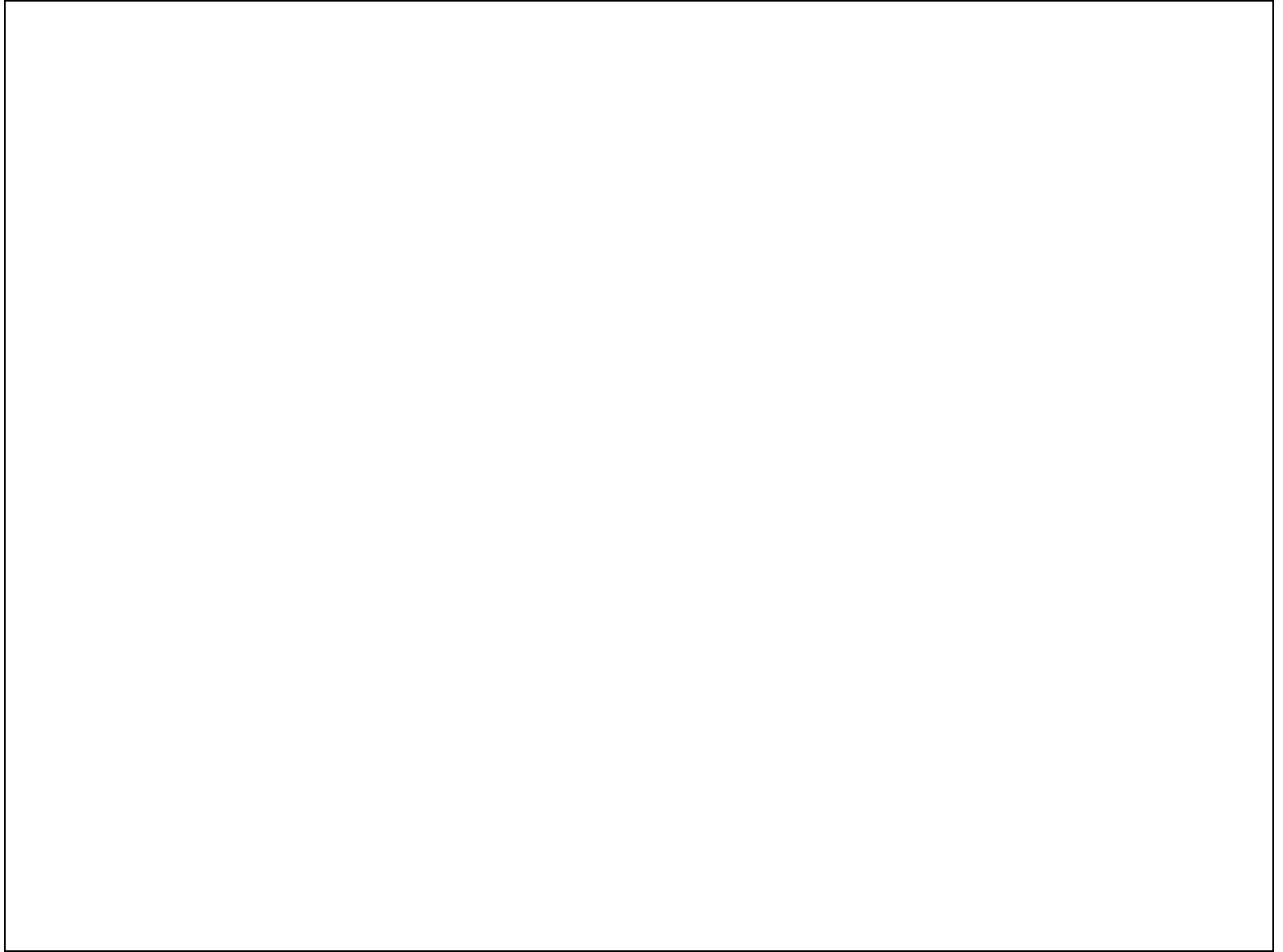
- Liší se stacionární stav od nestacionárního?
- závisí výsledek na tvaru a geometrii kolena a trysky?
- je možné rozhodnout o výsledku bez analytického výpočtu tlakových sil?
- Závisí výsledek na okolních předmětech?
- Závisí výsledek na rychlostním poli okolní atmosféry?

schématický pohled na otočnou část zespođu



schématický pohled na otočnou část zespod





naše analýza

- Stacionární stav:
- Je třeba vzít v úvahu oba vlivy, pak jsou dvě možnosti
- I. Jeden převládne (který?)
- II. Vzájemně se vykompenzují

je možné rozhodnout o výsledku bez analytického výpočtu odpovídajících sil?

- není vyloučeno, že výsledek , závisí na tvaru a geometrii kolena a trysky.
- Numerický výpočet nikdy nemůže rozhodnout otázku II.

1. Zákon zachování momentu hybnosti

- Nasávaný vzduch byl původně v klidu (předpoklad). Je uveden do pohybu a po průchodu rozpašovačem je tryská směrem kolmým na rovinu rozprašovače. Uvažujme stacionární stav. Moment hybnosti vzduchu vzhledem k ose se nemění. (Mění se pouze hybnost ve směru osy rotace).
- Vzhledem k tomu, že rameno neinteraguje s ničím jiným, než okolním vzduchem, nepůsobí na rameno žádný moment síly.

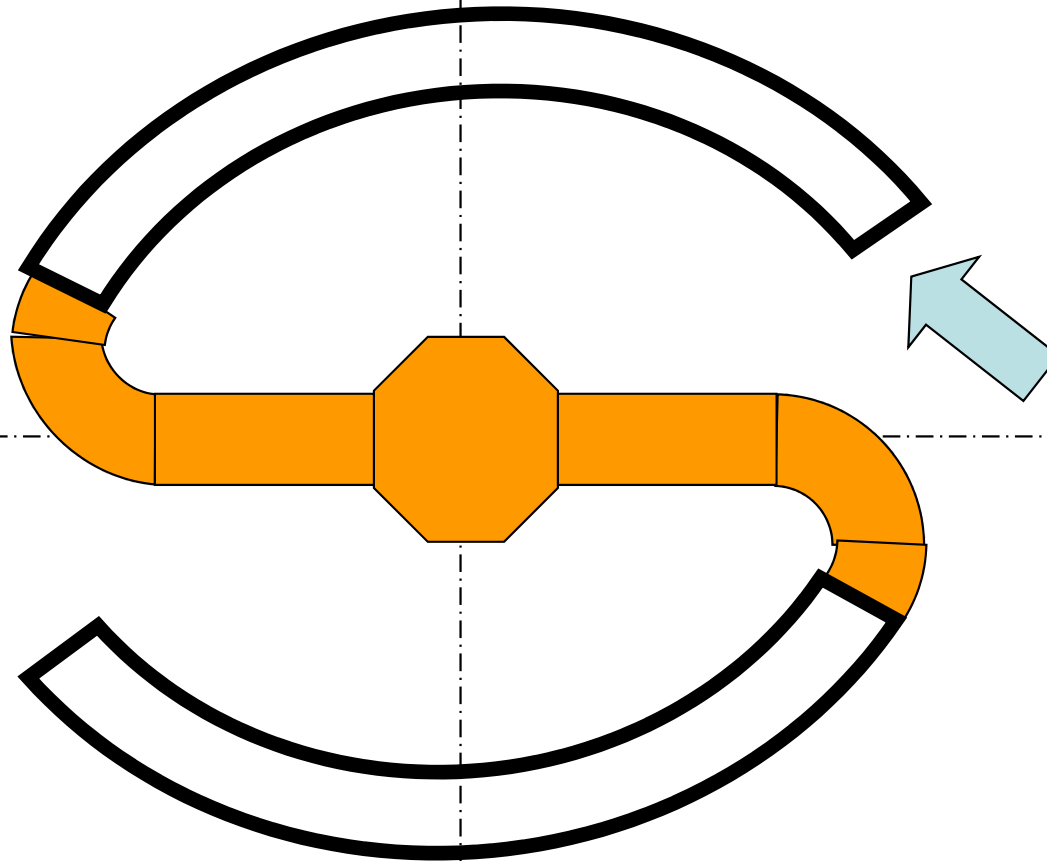
využití poznatků z předchozích experimentů

- tryskový motor má statický tah dvakrát větší, než je osová složka tlakové síly působící na turbínu.
- Stejná tahová síla působí na vstupní část motoru (zobecníme), nezávisle na tvaru sací části

Feynmanův inverzní rozprašovač

b) rameno je doplněno o obloukovou část. Tekutina je nasávána, na kterou stranu se bude trubice otáčet?

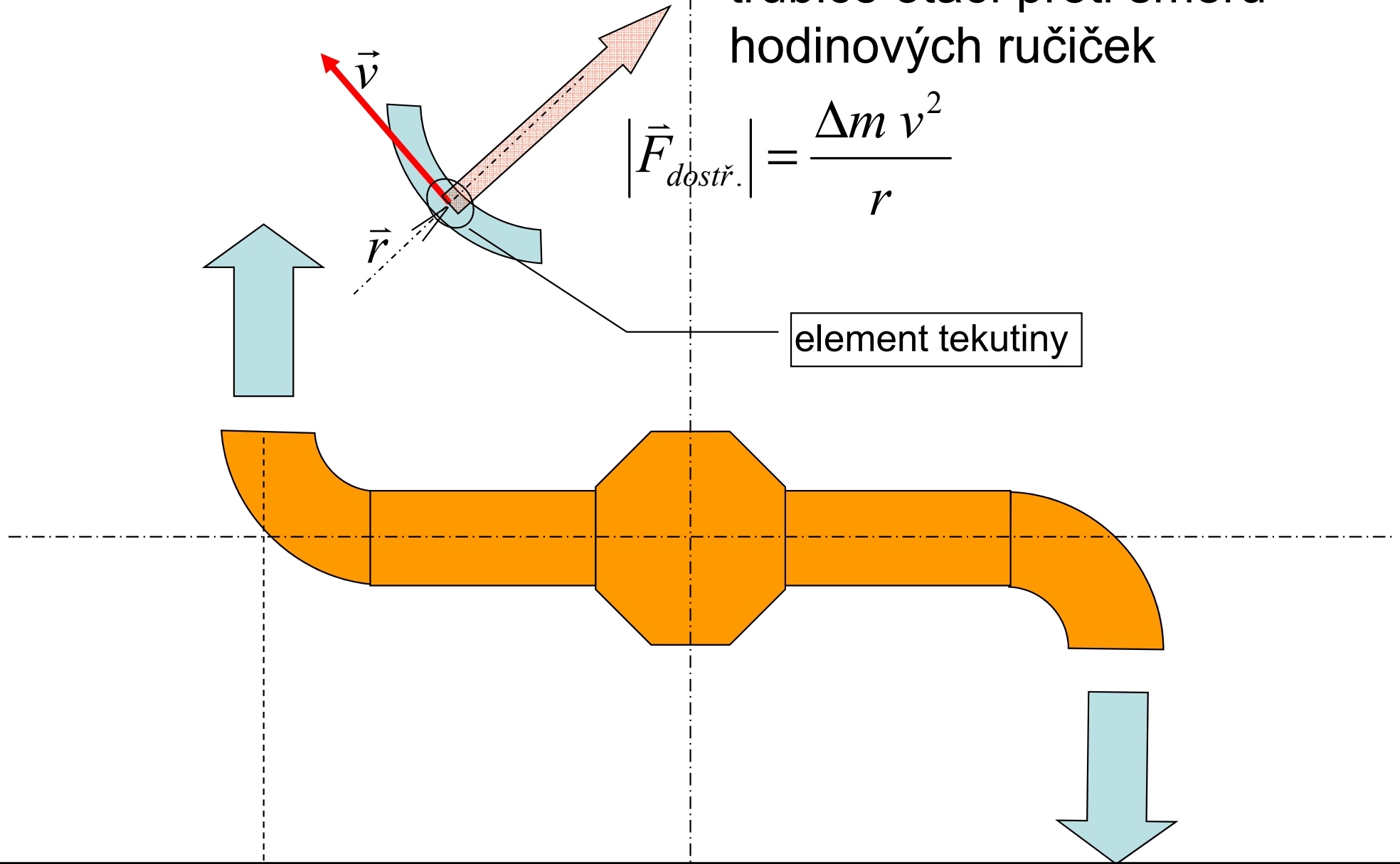
1. ve směru hodinových ručiček
2. proti směru hodinových ručiček
3. vůbec se nebude otáčet
4. bude se otáčet na obě strany



Feynmanův inverzní rozprašovač

a) tekutina tryská ven

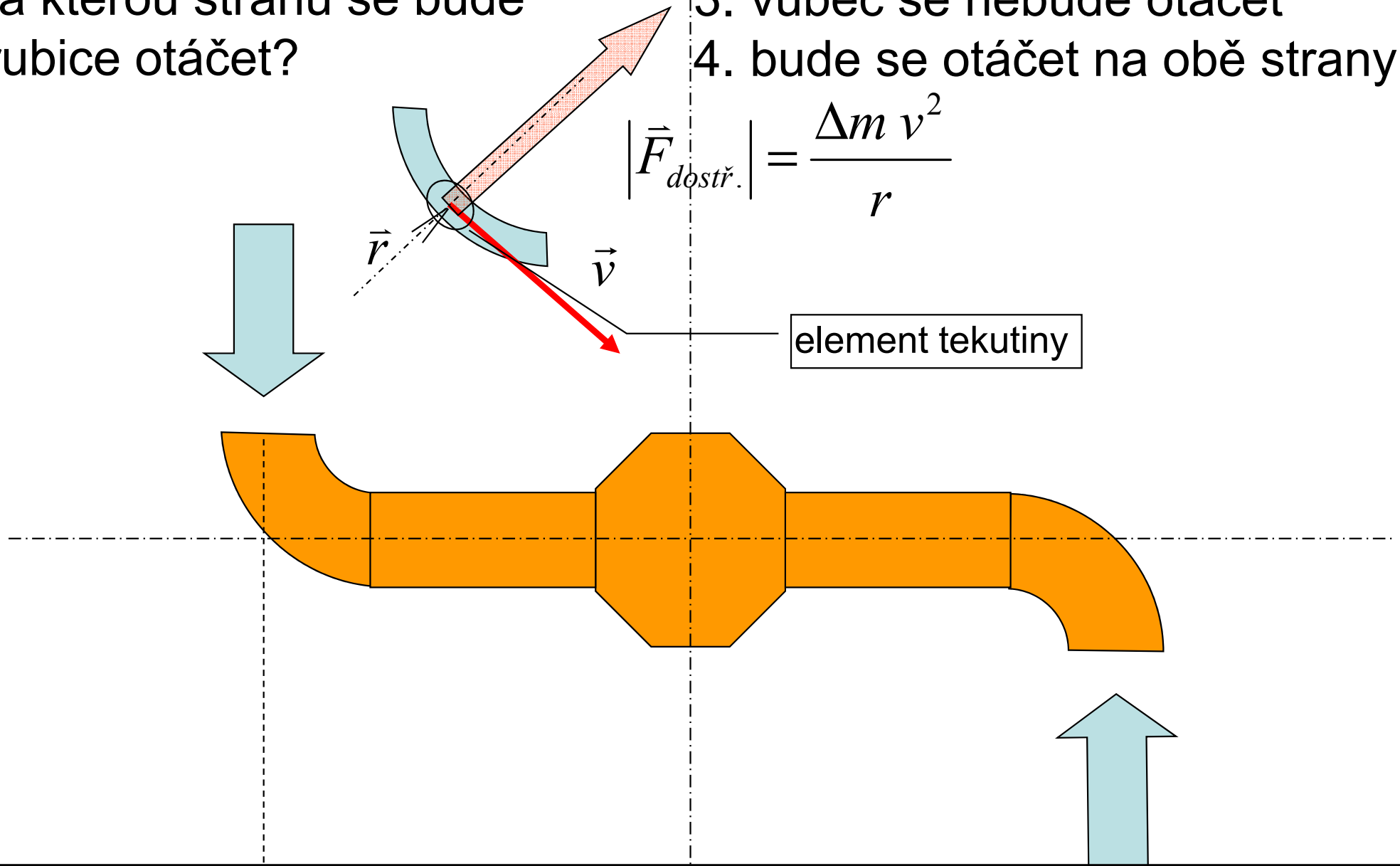
vlivem reaktivní síly
tryskající kapaliny se
trubice otáčí proti směru
hodinových ručiček



Feynmanův inverzní rozprašovač

b) tekutina je nasávána,
na kterou stranu se bude
trubice otáčet?

1. ve směru hodinových ručiček
2. proti směru hodinových ručiček
3. vůbec se nebude otáčet
4. bude se otáčet na obě strany



- Am. J. Phys. 72
(2004) 1276-1282
- [Alejandro Jenkins](#)

FEYNMAN'S REVERSE SPRINKLER

Alejandro Jenkins' article on Feynman's reverse sprinkler is excellent.¹ I assisted Dick Feynman in his experiment described on page 1280, and was the only person present besides him. As Jenkins mentions, Feynman never publicly revealed the results of this experiment. I was operating the Princeton Cyclotron and Dick asked me for space in the cyclotron room to run an experiment he had designed to test his "reverse sprinkler," and to assist him in some details.

It was Saturday afternoon, no one else was around, and I was delighted to help him. He had built a small model of a lawn sprinkler and had borrowed a 50-gallon glass carboy from the Princeton chemistry department. We placed the sprinkler in the carboy, connected a 0.5-inch-diameter hose from the bottom of the sprinkler to one hole of a two-hole stopper, and to the laboratory sink. The other hole was connected to a source of high pressure air. We filled the carboy with water to above the level of the sprinkler, stoppered the carboy, and I awaited Dick's instructions to turn on the air pressure. We watched the sprinkler as

the pressure built up, forcing water into the top of the sprinkler, and in a few minutes the sprinkler head turned about 5 degrees in the direction a sprinkler usually turns when water is forced into it through its base. There was a little tremor, as Dick called it, and the sprinkler head rapidly moved back to its original position and stayed there. The water flow continued with the sprinkler stationary. We adjusted the pressure to increase the water flow, about five separate times, and the sprinkler did not move, although water was flowing freely through it in the backwards direction, which is consistent with the analysis of Jenkins. The carboy then exploded, due to the internal pressure. A janitor then appeared and helped me clean up the shattered glass and mop up the water. I don't know what Dick had expected to happen, but my vague thoughts of a time-reversal phenomenon were as shattered as the carboy.

¹Alejandro Jenkins, *Am. J. Phys.* 72(10), 1276–1282 (2004).

E. Creutz
Rancho Santa Fe, California