# Posudek vedoucího na bakalářskou práci

## Zavedení vektorového součinu

### David Holý

Předložená práce je zaměřena na fyzikální motivace zavedení vektorového součinu.

V první kapitole je předložena základní motivace jednotlivých podmínek definujících vektorový součin na základě momentu síly. Tento pojem je zaveden, a to včetně názorné motivace založené na jednoduchých pozorováních. Vektorový součin tak vznikne naprosto přirozeně abstrakcí z jednoduchých fyzikálních situací. Nechybí ani vysvětlení samotného názvu *vektorový součin*.

Druhá kapitola je věnována odvození souřadnic vektorového součinu z podmínek, kterými je definován. Odvození je založeno na pozorování vektorového součinu prvků kartézské báze, souřadnice vektorového součinu libovolných vektorů je pak získáno přímočarým výpočtem na základě pravidel pro počítání s vektorovým součinem (zejména distributivita).

Do třetí kapitoly jsou zařazena odvození základních vlastností vektorového součinu a také některé jeho jednoduché matematické aplikace. Oceňuji představení Levi-Civitova symbolu, pomocí něhož jsou důkazy vlastností vektorového součinu podstatně kratší.

První tři kapitoly jsou orientovány didakticky. Důraz je kladen na srozumitelnost. S vektorovým součinem se žáci poprvé setkávají ve fyzice – konkrétně v mechanice v prvním ročníku střední školy. Nemusí však být jasné, jak vektorový součin přirozeně vychází z některých fyzikálních situací. Úvodní kapitola tuto mezeru srozumitelně zaplňuje, autor si zvolil velmi názorný příklad a při jeho fyzikálním rozboru cíleně používá fyzikálních pozorování, jejichž výsledky jsou každému zřejmé z vlastní zkušenosti (otevírání dveří, ...).

Poslední dvě kapitoly užívají pokročilejší fyziky i matematického aparátu. Ukazuje se zde, proč se vektorový součin objevuje i v kapitolách o elektromagnetismu či v definici rotace vektorového pole (rot $\vec{E} = \nabla \times \vec{E}$).

Čtvrtá kapitola je věnována Lorentzově síle, která způsobuje zvláštní pohyb nabité částice v homogenním magnetickém poli. V několika krocích je ukázáno, že tato síla splňuje charakteristické vlastnosti vektorového součinu, lze ji tedy popsat pomocí vektorového součinu.

V páté kapitole je pak soubor poměrně jednoduchých a na sebe navazujících pozorování, z nichž pak vysvítá, proč lze rotaci vektorového pole $\vec{E}$ formálně psát jako vektorový součin operátoru nabla s $\vec{E}$.

Velmi kladně hodnotím první kapitolu, v níž je podrobně a pro matematika srozumitelně vyložena jedna z možných fyzikálních motivací k zavedení vektorového součinu. Tento výklad je srozumitelný na středoškolské úrovni, nevyskytuje se však standardně ani v učebnicích matematiky (příliš mnoho fyziky), ani v učebnicích fyziky (nedostatek času, příliš mnoho matematiky).

Druhá a třetí kapitola obsahuje „obligátní látku“. Odvození souřadnic vektorového součinu je celkem standardní, podobný postup je zvolen např. v učebnici analytické geometrie ze série Matematika pro gymnázia. Přesto se autorovi podařilo text obohatit, kladně hodnotím zavedení Levi-Civitova symbolu a předvedení několika důkazů, které jsou díky tomuto formalismu podstatně stručnější. Nejspíše kopírováním došlo k drobnému nedopatření při jeho definici, permutace $(2, 3, 1)$ se vyskytuje u hodnoty $1$ i $-1$.

Autor se rozhodl nezůstat u motivace pouze na základě představ z mechaniky a připojil příklad z oblasti elektromagnetismu. Toto rozhodnutí hodnotím velmi kladně, je tak mnohem lépe vidět obecnější princip, který vede k tomu, že se ve fyzice objevuje vektorový součin. Výklad už je mírně náročnější, téma tak přesahuje hranice středoškolské látky.

Poslední kapitola odráží spíše fyzikální způsob myšlení a obsahuje méně korektní práci s matematikou. Zařadit ji chtělo jistou odvahu, neboť je po matematické stránce snadno „napadnutelná“. Používají se zde pojmy a výsledky, které jsou daleko za hranicí střední školy (křivkový integrál, potenciál, diferenciální operátory). Navíc se jedná o vysvětlení formálního zápisu rotace vektorového pole pomocí operátoru nabla, nejedná se tedy přísně vzato o vektorový součin. Přesto hodnotím velmi pozitivně, že ji autor zařadil. Inspiroval se různými zdroji a samostatně promyslel poměrně jednoduché a na sebe navazující úvahy, pomocí nichž se mu podařilo dát formálnímu zápisu fyzikální interpretaci.

Po formální stránce práce vypadá pěkně, text je vysázen v LaTeXu. Přesto se objevují některé prohřešky vůči typografickým zásadám (např. spojovník místo pomlčky přímo v nadpisu kap. 4). Všechny obrázky autor připravil samostatně, některé v programu Geogebra, některé nakreslil vlastnoručně. Samotný text se dobře čte a je srozumitelný, jen místy se vyskytují nedůslednosti formulační či matematické.

Vzhledem k výše uvedenému doporučuji, aby byla tato práce uznána jako bakalářská, a doporučuji ji k obhajobě. Podle průběhu obhajoby navrhuji hodnocení ***výborně*** až ***velmi dobře***.

Praha, 5. září 2022

Zdeněk Halas, DiS., Ph.D.
Katedra didaktiky matematiky, MFF UK