



LUND UNIVERSITY

Reflektion kring möjligheten att införa analogier i undervisningen i elektromagnetisk fältteori

Sohl, Christian

2011

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Sohl, C. (2011). Reflektion kring möjligheten att införa analogier i undervisningen i elektromagnetisk fältteori. Project in the pedagogics course "Den goda föreläsningen med reflektionsuppgift".

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Reflektion kring möjligheten att införa analogier i undervisningen i elektromagnetisk fältteori

Christian Sohl*

7 januari 2011

Sammanfattning

Föreliggande rapport reflekterar över möjligheten att införa analogier i undervisningen i elektromagnetisk fältteori för att främja studenternas lärandeprocess. Sådana analogier fyller det primära pedagogiska syftet att relatera studenternas nyvunna kunskap eller okunskap i ämnet till ett område som de har tidigare erfarenhet av. Pedagogiska konsekvenser diskuteras, däribland vikten av att som föreläsare vara medveten om analogins giltighetsområde.

1 Bakgrund

Att undervisa elektromagnetisk fältteori på civilingenjörsprogrammen i teknisk fysik och teknisk matematik är utmanande på många sätt.^a Materialet som behandlas på föreläsningarna kräver en omfattande matematisk begreppsapparat som företrädesvis har sin utgångspunkt i vektoranalysen. Förutom matematisk färdighet krävs en förmåga att kvalitativt tolka resultaten av teorin. Till skillnad från andra tillämpningsämnen på tekniska högskolan, såsom optik, klassisk mekanik och värmeledningsteori, kan elektromagnetiska fenomen, med undantag för optiska frekvenser, inte direkt iakttas med blotta ögat. Utfallet av ett experiment eller en demonstration kan med andra ord klassas som »elektromagnetiskt» först efter att det har tolkats genom en teori. I detta avseende har andra tillämpningsämnen ett pedagogiskt övertag jämfört med elektromagnetisk fältteori. Exempelvis kan temperaturfälten i värmeledningsteorin direkt uppfattas med ett av våra mänskliga sinnen vilket också gör det lättare för studenterna att göra rimlighetsbedömningar av uträknade resultat.

Koncept som är centrala för elektromagnetisk fältteori är av denna anledning svåra att illustrera i föreläsningssalen. En konsekvens av detta är att studenterna har svårt att sätta ämnet i relation till tidigare vardagserfarenheter vilket medför att

*Teoretisk elektroteknik, Elektro- och informationsteknik, Lunds tekniska högskola. Telefon: 046-222 34 13. E-post: christian.sohl@eit.lth.se.

^aDenna reflektion bygger uteslutande på mina egna erfarenheter som föreläsare i elektromagnetisk fältteori varför påståendena inte är förankrade i några kvalitativa eller kvantitativa studier.

utbildningsämnet riskerar att isoleras genom att studenterna anser att det har få eller mycket få beröringspunkter med andra tillämpningsämnen. För att upprätthålla en hög status på civilingenjörsutbildningen är det viktigt att samtliga tillämpningsämnen upplevs centrala för utbildningen och knyter an till varandra på ett naturligt sätt.

Förutom svårigheten att illustrera elektromagnetiska fenomen finns det ytterligare utmaningar med att undervisa elektromagnetisk fältteori. I den vetenskapliga litteraturen nämns bland annat studenternas problem att förstå och kunna redogöra för superpositionsprincipen.⁶ Ytterligare en svårighet består i att storheterna som förmedlar växelverkan i teorin är abstrakta vektorfält som till varje punkt i rummet och för varje tidsögonblick har både riktning och storlek.⁸ Detta utgör en mer komplicerad situation än vad som är fallet inom exempelvis den klassiska mekaniken. Den klassiska mekaniken är förvisso också av vektorkaraktär men den saknar detta intrikata rums- och tidsberoende hos de ingående storheterna. Denna skillnad medför att studenterna har svårare att föreställa sig koncept inom elektromagnetisk fältteori än dito inom klassisk mekanik.

Även enhetssystemen som förekommer i elektromagnetisk fältteori är en källa till förvirring. Till skillnad från den klassiska mekaniken får ekvationerna i elektromagnetisk fältteori olika utseenden i olika enhetssystem. Exempelvis kan Coulombs lag, som är central för elektrostatiken, skrivas på tre olika sätt i de tre dominerande enhetssystemen: Gaussiska enheter, SI-enheter och Heaviside-Lorentz enheter. Olika vetenskapliga källor använder olika enhetssystem, vilket skapar förvirring om studenterna söker information utanför den ordinarie kurslitteraturen. För att passa in med andra tillämpningsämnen på tekniska högskolan sker undervisningen i elektromagnetisk fältteori uteslutande med SI-enheter. Detta har som nackdel att naturkonstanterna ϵ_0 , μ_0 och c_0 , som teorin är uppbyggd kring, spänner över flera tiopotenser:

$$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm} \quad \mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/Am} \quad c_0 = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

Notera att det skiljer hela 20 tiopotenser mellan ϵ_0 och c_0 ! Denna enorma dynamik borde rimligtvis göra det svårt för studenterna att bedöma om ett uträknat resultat är rimligt eller inte.

Resonemanget nedan är specifikt för utbildningsämnet elektromagnetisk fältteori, men kan med smärre förändringar appliceras på andra tillämpningsämnen också.

2 Analogier i undervisningen

Analogier för att förklara och troliggöra elektromagnetiska fenomen har använts flitigt genom historien utan att man egentligen har förstått de underliggande fysikaliska mekanismerna.⁷ Exempel på detta är de mekaniska analogier och modeller som James Clerk Maxwell använde sig av när han formulerade sina berömda ekvationer i mitten på 1800-talet.⁵

Allmänt kan en analogi sägas överföra kunskap från ett ämnesområde till ett annat genom att klä ekvationer och uträkningar i något som upplevs som konkret. Att

införa analogier i undervisningen i elektromagnetisk fältteori har det primära pedagogiska syftet att relatera studenternas nyvunna kunskap eller okunskap i ämnet till ett område som de har tidigare erfarenhet av.²⁻⁴ Ett sådant område att falla tillbaka på kan exempelvis vara vardagserfarenheter eller ett annat tillämpningsämne. Exempel på tillämpningsämnen, som för tidsberoende fält är begreppsmässigt möjligt att bygga analogier kring, är klassisk mekanik, flödesmekanik och värmeledningsteori. Analogier som har utgångspunkt i dessa tillämpningsämnen möjliggör att abstrakta storheter och resonemang i elektromagnetisk fältteori ges en konkret representation och intuitiv tolkning som främjar lärandeprocessen. Dock måste analogierna väljas med omsorg och alltför långtgående slutsatser baserat på dessa bör undvikas. Som föreläsare måste man vara väl medveten om analogiernas giltighetsområden.

I fallet då båda tillämpningsämnena beskrivs av samma slags ekvationer eller modellagar anses analogin vara fullständig.^b Ett exempel på en nästintill fullständig analogi är den mellan elektrostatik (elektriskt fält \mathbf{E}) och den newtonska gravitationen (gravitationsfält \mathbf{g}) som beskrivs av differentialekvationerna

$$\begin{cases} \nabla \times \mathbf{E} = \mathbf{0} \\ \nabla \cdot \mathbf{E} = \rho_e/\epsilon_0 \end{cases} \quad \begin{cases} \nabla \times \mathbf{g} = \mathbf{0} \\ \nabla \cdot \mathbf{g} = -4\pi G\rho_m \end{cases}$$

Konstanterna i divergensvillkoren är valda så att kraften på en elektrisk punktladdning q och kraften på en punktmasa m ges av $q\mathbf{E}$ respektive $m\mathbf{g}$. Liknande analogier finns i magnetostatiken och för tidsberoende elektromagnetiska fält. I det senare fallet är dock analogierna betydligt mer komplicerade.

Det finns stora likheter mellan ekvationerna ovan om man tillskriver rätt mening till rätt symbol. Trots detta finns det åtminstone två fundamentala skillnader mellan elektrostatik och newtonsk gravitation. Masstätheten ρ_m är alltid icke-negativ i den newtonska gravitationen medan den elektriska laddningstätheten ρ_e kan anta såväl positiva som negativa värden. På grund av minustecknet i divergensvillkoret i den newtonska gravitationen är gravitationskraften alltid attraktiv medan motsvarande situation med lika laddningstätheter i elektrostatiken är repulsiv.

Förutom nackdelar i analogin mellan elektrostatik och newtonsk gravitation finns det uppenbara fördelar med sådana paralleller. Den newtonska gravitationen åskådliggör på ett tydligt sätt begrepp som intuitivt är svåra att ta till sig såsom gravitationspotential och potentiell energi. Dessa begrepp är centrala för studiet av planetbanorna i den newtonska gravitationen och studenterna bör vara väl förtrogena med dessa begrepp sedan gymnasieutbildningen. Den direkta motsvarigheten i elektrostatiken till dessa begrepp är ofta föremål för missuppfattningar bland studenterna.¹

^bTerminologin med fullständig och ofullständig analogi är författarens egen. Termer med motsvarande innebörd borde finnas myntade i den pedagogiska litteraturen men tyvärr har undertecknad ej hittat något sådant.

3 Pedagogiska konsekvenser

Tyvärr är det sällan fallet att samma slags ekvationer eller modellagar beskriver skilda fysikaliska fenomen. En ofullständig analogi har därför ett begränsat giltighetsområde och därmed fallgropar. Dessa fallgropar kan medföra avsevärda bekymmer för studenterna om man som föreläsare inte introducerar analogierna med omsorg och inte nog poängterar deras giltighetsområden (jämför med analogin mellan elektrostatik och newtonsk gravitation). Som föreläsare bör man dessutom sträva efter att arbeta med analogier som har entydig tolkning för att undvika att studenterna missuppfattar det underliggande budskapet.¹ Om man trots detta anammar en ofullständig analogi och applicerar den utanför dess giltighetsområde riskerar man att fara med osanning och skapa provisorisk förståelse i syfte att förenkla framställningen för studenterna. Det krävs således en avvägning hur mycket man kan tänja på sanningen och hur enkelt man vill att studenterna skall uppfatta ämnet. Med bakgrund av detta kan man fråga sig om man inte gör studenterna en otjänst genom att överhuvudtaget införa ofullständiga analogier i undervisningen. Populärvetenskapliga beskrivningar och analogier, med syfte att göra ämnesområdet tillgängligt för en bredare allmänhet, bör av denna anledning undvikas i föreläsningssammanhang.

Såsom lärandemålen i elektromagnetisk fältteori är formulerade är det inte tillräckligt att studenterna är väl förtrogna med de matematiska aspekterna av teorin. Det krävs även en förmåga att kvalitativt tolka resultat och kunna redogöra för centrala fysikaliska koncept. Att som föreläsare införa fullständiga eller nästintill fullständiga analogier i undervisningen kan i detta avseende fungera som ett stöd kring vilket studenterna kan bygga förståelse och syntetisera kunskap.

I dagsläget undervisas elektromagnetisk fältteori utan någon som helst diskussion om de modeller och analogier som teorin konstruerades utifrån i mitten på 1800-talet. En risk med att medvetet utelämnas sådan historik är att studenterna på felaktiga grunder leds till att tro att elektromagnetisk fältteori blott konstruerades utifrån empirisk kunskap av briljanta vetenskapsmän såsom Michael Faraday, André-Marie Ampère och James Clerk Maxwell. Detta är i linje med resonemanget av Richard Coll och medförfattare som anser att man som föreläsare bör utveckla en pedagogik som möjliggör att studenterna inser värdet av sådana analogier.² Det är också viktigt att poängtera att analogier som har sina rötter i historien har en fördel framför mer moderna analogier på grund av deras välkända begränsningar och fallgropar.⁴

En annan aspekt på att införa analogier i undervisningen är i syfte att introducera ett nytt koncept genom att först redogöra för något som studenterna kan relatera till, för att sedan övergå till att förklara konceptet på fristående basis med den begreppsapparat som hör till utbildningsämnet i fråga. Detta medför att studenterna är med på noterna från början och som föreläsare leder man dem i rätt riktning. I detta fall fungerar analogin som ett mellansteg i lärandeprocessen. Detta är ett möjligt sätt att anamma analogier i undervisningen i elektromagnetisk fältteori i syfte att illustrera elektromagnetiska fenomen.

4 Slutsats

Det är möjligt att införa analogier i undervisningen i elektromagnetisk fältteori men som föreläsare måste man välja analogierna med omsorg för att förhindra att det underliggande budskapet missuppfattas. En kvalitativ studie som kompletterar CEQ bör följa upp och utvärdera hur väl analogier av detta slag tas emot av studenterna.

Referenser

- [1] C. Agnvall, G. Jönsson, A. Karlsson, J. Rodrigues, and D. Sjöberg. Nyckelbegrepp och missuppfattningar inom ellära och elektronik. Projektrapport i Högskolepedagogisk inspirationskurs, 2005.
- [2] R. K. Coll, B. France, and I. Taylor. The role of models/and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*, **27**(2), 183–198, 2005.
- [3] R. Duit. On the role of analogies and metaphores in learning science. *Science Education*, **75**(6), 649–672, 1991.
- [4] N. Kipnis. Scientific analogies and their use in teaching science. *Science & Education*, **14**(3-5), 199–233, 2005.
- [5] J. C. Maxwell. *A Treatise on Electricity and Magnetism*. Dover Publications, New York, 1954.
- [6] S. Rainson, G. Tranströmer, and L. Viennot. Students' understanding of superposition of electric fields. *American Journal of Physics*, **62**(11), 1026–1032, 1994.
- [7] C. C. Silva. The role of models and analogies in the electromagnetic theory: a historical case study. *Science & Education*, **16**(7-8), 835–848, 2007.
- [8] S. Törnkvist, K.-A. Pettersson, and G. Tranströmer. Confusion by representation: On student's comprehension of the electric field concept. *American Journal of Physics*, **61**(4), 335–338, 1993.