

Magnetfælde for ladede partikler i torusser, hvor partiklerne ikke drifter ud til siderne af torussen

Af Klaus Nielsen www.fysikogmatematik.wordpress.com

Det er muligt at lave torusser hvor magnetfeltet er størst inden i midten af torusserne

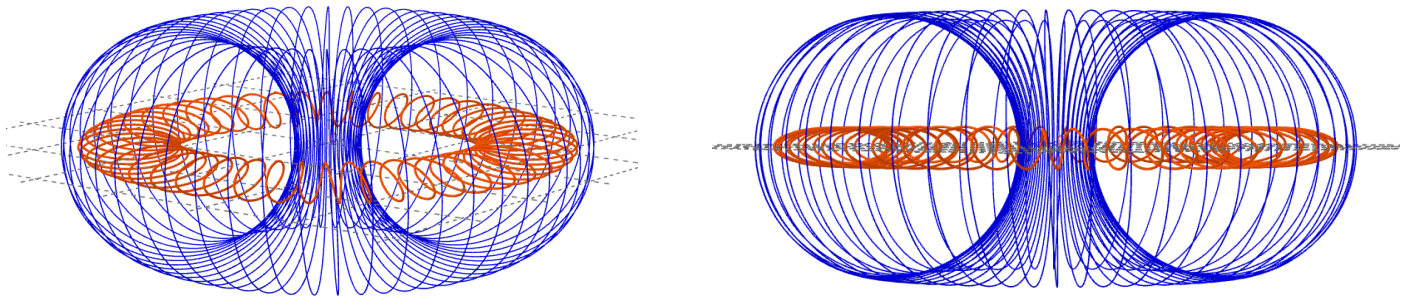


Fig 1 Torus med ekstra lille ellipsetorus indvendig skråt ovenfra og fra siden.

I denne artikel ses, der på de magnetfelter, der opstår i torusser med strømførende vindinger, hvor der løber en strøm.

Magnetfelter i torusser.

"Magnetfeltet i en torus er størst ved torusvæggen tættest på centrum". Udsagnet har næsten været en lov i rigtig mange år.

Artiklen giver en løsning på, at det er muligt, at lave en torus med en ekstra ellipsetorus inden i, der gør det muligt at magnetfeltet er størst inden i selve torusserne. Det vil betyde at ladninger, der bevæger sig i torussernes magnetfelt bliver inde i torusserne og ikke vil bevæge sig ud til siderne af torussen. De er fanget i en magnetfælde.

Almindelige torusser

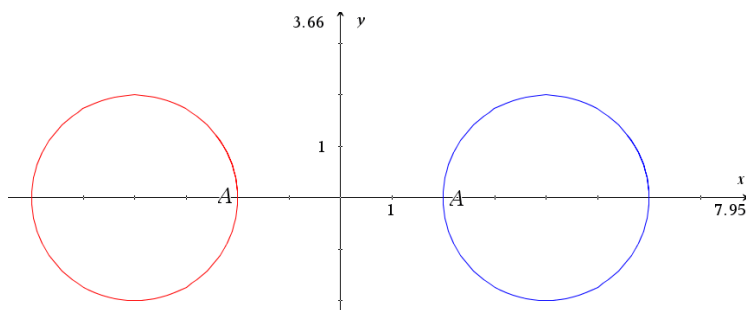


fig 2 Lodret tværsnit af en almindelig torus .

I en almindelig torus med centrum i origo er magnetfeltet størst inden i torussen tættest på y-aksen, punkterne A på fig 1. Magnetfeltet i den salgs torusser aftager næsten kun med den vandrette afstand til origo .

Ladning i B-felt der kun afhænger af x og aftager med $1/x$

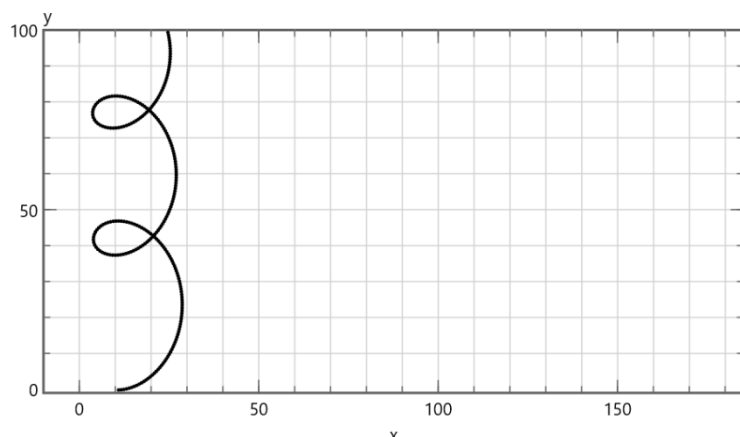


Fig 3 Bevægelse af en ladning i en vinding i en alm torus, hvor torussen har centrum i origo.

Her vil Lorentzkraften $q \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{B}$, når q er ladningen, \mathbf{v} er hastighedsvektoren og \mathbf{B} er magnetfeltstyrke vektoren, bevirke at ladningen bevæger sig f.eks opad.

Det kan forklares med det følgende:

Da det er krumme bevægelser skal der være en kraft her Lorentzkraften, der leverer den til

cirkelbevægelsen nødvendige centripetalkraft $\frac{mv^2}{R_k}$.

$$qvB = \frac{mv^2}{R_k}$$

Hvor R_k er krumningsradius i bevægelsen, og v er den øjeblikkelige fart, der her skal være konstant, og m er Massen af partiklen.

Det giver at

$$R_k = \frac{mv^2}{qvB} = \frac{mv}{qB}$$

Når B-feltet er stort bliver krumningsradius R_k lille og omvendt. Sløjferne på fig 2 viser dette, krumningsradius er lille i sløjferne når B-feltet er størst tættest på y-aksen.

almindelige torusser med elektrisk felt:

Ladning i B-felt der kun aftager med $1/x$ med E-felt

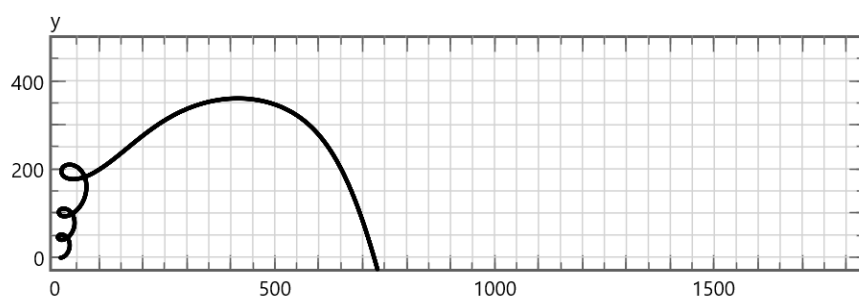


Fig 4 B-felt som på fig 2, med elektrisk felt

Hvis de positive ladninger f.eks bevæger sig opad og de negative ladninger i et plasma bevæger sig nedad, vil der opstå et elektrisk felt.

En positiv ladning vil her være påvirket af en nedad rettet kraft. Det betyder at den positive ladning vil accelerere når den bevæger sig nedad, v bliver større, det giver en større krumningsradius i bevægelsen end uden det elektriske felt. Når ladningen bevæger sig opad aftager hastigheden, der igen giver en mindre krumningsradius. Overordnet vil positive ladninger bevæge sig væk fra y-aksen.

Geometrien af det B-felt jeg mener at kunne lave er helt anderledes:

Først i 2 dimensioner, for overskuelighedens skyld:

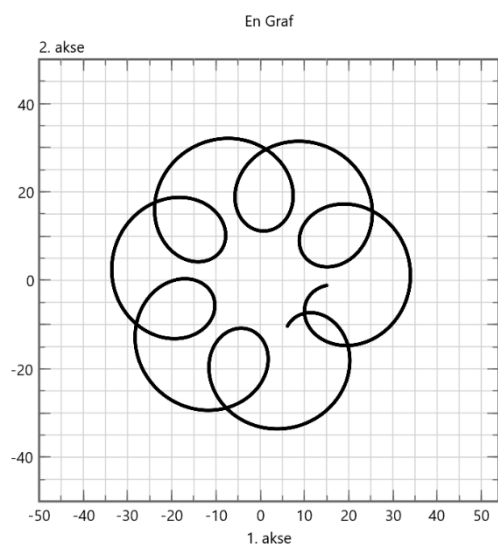


Fig 5

Ladningers bevægelse i et magnetfelt der er størst i origo og aftager med afstanden til origo. \mathbf{B} vektoren er rettet ind i skærmen/papiret.

Her starter bevægelsen for en positiv ladning i punktet (15,0) med en hastighed rettet ind mod origo.

Bevægelsen er mod uret, dels for ca en omgang dels for den overordnede bevægelse om origo.

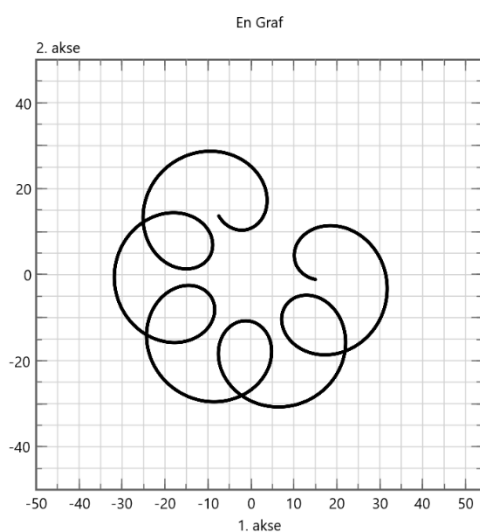


Fig 6

For en negativ ladning, ser det sådan ud.

Bevægelserne er nu med uret.

Bemærk at en ladning i denne slags B-felt ikke kan slippe væk (klart hvis B-feltet har uendelig udstrækning.), ladningerne ikke drifter ud til siderne, selv med et rumligt begrænset B-felt selv hvis hastigheden bliver det dobbelte.

Magnetfeltet fra kombinationen af torusserne vist på fig 1:

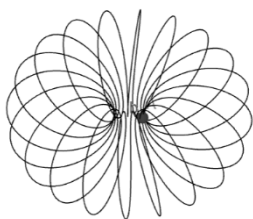


Fig 7 Tv Model af stor torus med næsten cirkelformede vindinger og
Fig 8 th Model af torus med ellipseformede vindinger th



Fig 9 th Tværsnit af torus med ellipseformet torus inden i. Hvis de to torusser har 50 vindinger og hvis strømstyrken i den store torus er tre gange så stor og modsat rettet strømstyrken i den ellipseformede torus, vil magnetfeltet være størst ved punktet x- på figuren inden i den ellipseformede torus. Magnetfeltet vokser ind mod x både vandret og lodret på figuren i den inderste ellipse.

Dimensionerne er relative. Hvis afstandene på x og y akse er i meter vil den ydre radius af et anlæg være ca 20 meter. Måske lidt stor, men stadigvæk mindre end Advedøreværket.

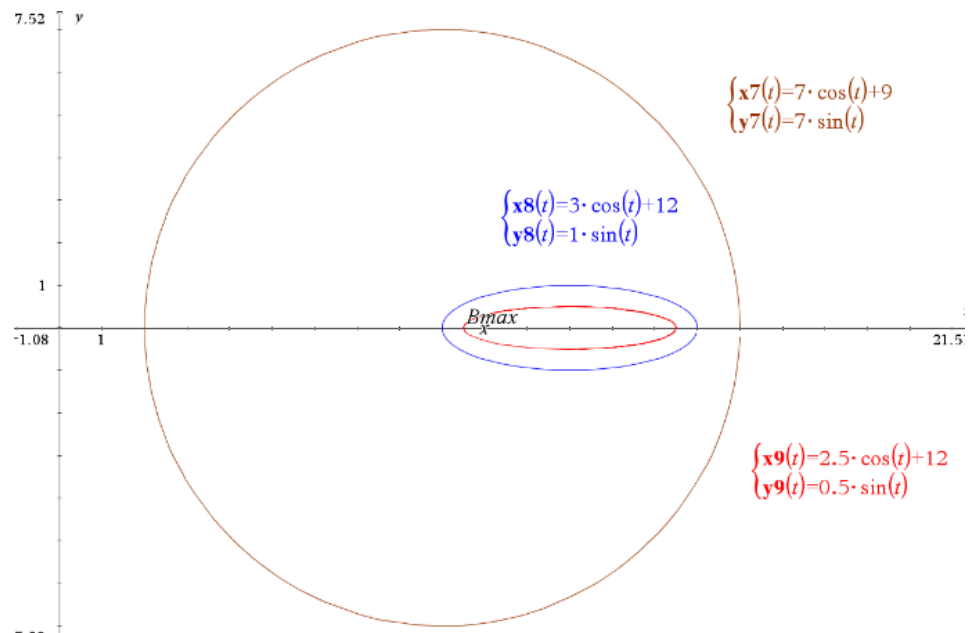


Fig 10 Der hvor magnetfeltet er størst er på den sorte ring inden i torusserne

Bemærk at når den lille torus med ellipseformede vindinger flyttes længere væk fra centrum, vil Bmax flytte sig relativt lidt længere væk fra centrum af en enkelt vinding i den lille ellipsetorus. (længere ud af x-aksen på fig 9)

Parameterfremstillingerne for de to torusser er angivet i fig 9 så interesserede kan efterprøve min påstand.

X

Beregninger af **B**-feltet i et punkt ud fra Biot-Savarts lov

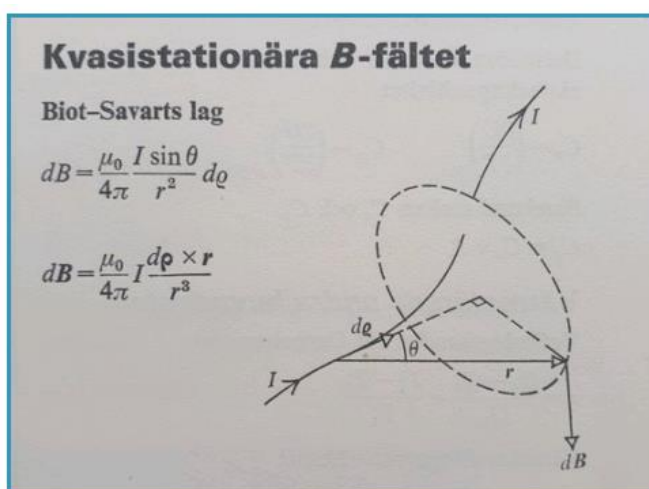


Fig 11 Biot -Savarts lov

Ud fra Biot-Savarts lov kan B-feltet i et enkelt vilkårligt punkt findes, hvis forskriften for torussen er kendt.

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{d\mathbf{p} \times \mathbf{r}}{r^3}$$

Kendes parameterfremstillingen for en strømkreds $\mathbf{pa}(t) =$

$\begin{pmatrix} \text{pax}(t) \\ \text{pay}(t) \\ \text{paz}(t) \end{pmatrix}$, hvor t er parameteren kan $\frac{d\mathbf{pa}(t)}{dt}$ beregnes og

linieelementet vektoren $d\mathbf{p}$ kan findes som $d\mathbf{p} = \frac{d\mathbf{pa}(t)}{dt} \cdot dt$

Vektoren \mathbf{r} til et vilkårligt punkt $P(p_1, p_2, p_3)$ bliver $\mathbf{r}(t) = \begin{pmatrix} p_1 - p_{ax}(t) \\ p_2 - p_{ay}(t) \\ p_3 - p_{az}(t) \end{pmatrix}$

Det totale \mathbf{B} felt i et vilkårligt punkt P er, hvis strømkredsen bliver gennemløbet når parameteren t ligger mellem fra t_1 og t_2 , når I er strømstyrken og μ_0 er vakuumpemreabiliteten:

$$\mathbf{B}(p_1, p_2, p_3) = \oint \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{d\mathbf{p} \times \mathbf{r}}{r^3} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{\frac{d\mathbf{p}(t)}{dt} \times \mathbf{r}}{r^3} \cdot dt$$

Er der flere strømkredse, der bidrager til magnetfeltet, skal magnetfelterne summeres op. Det gælder selvfølgelig for torusser, og det er ikke så kompliceret som det ser ud til. Se bilag 1

I det følgende er z akse den lodrette akse og x - y planet er et vandret plan.

Eksempler på beregninger

Den store torus:

x	B z=0	B z=0.25	B z=0.5	B z=0.75
9,5	10,524216593	10,524222318	10,524238847	10,524265856
10	9,997637376	9,997644656	9,997665615	9,997699783
10,5	9,521136004	9,521145431	9,521172541	9,521216582
11	9,087862522	9,087875065	9,087910935	9,087969011
11,5	8,692149616	8,692166792	8,692215709	8,692294526
12	8,329264048	8,329288558	8,32935804	8,329469331
12,5	7,995232149	7,995269471	7,995374842	7,995542658
13	7,686810077	7,686874168	7,687055127	7,687343078
13,5	7,402076804	7,402213987	7,402604991	7,40323409
14	7,144191017	7,14458858	7,145739177	7,147624421
14,5	6,940935192	6,942445707	6,946838206	6,954081039

Bemærk at B feltet stort set er konstant for hver x -værdi.

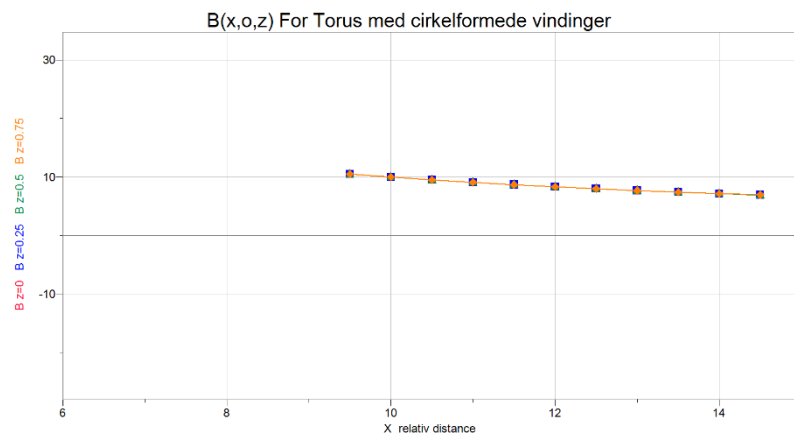


Fig 12

B -feltet for torussen med cirkelformede vindinger hvor der løber en strøm, i x - y planet, med 50 vindinger. Hvis Magnetfeltet skal være i Tesla, skal tallene for " $B(x,0,z)$ " mm ganges med $\frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I$, når afstandene er i m. se bilag 2

B -feltet er symmetrisk om x - y planet så $B(z=0.25) = B(z=-0.25)$ etc.

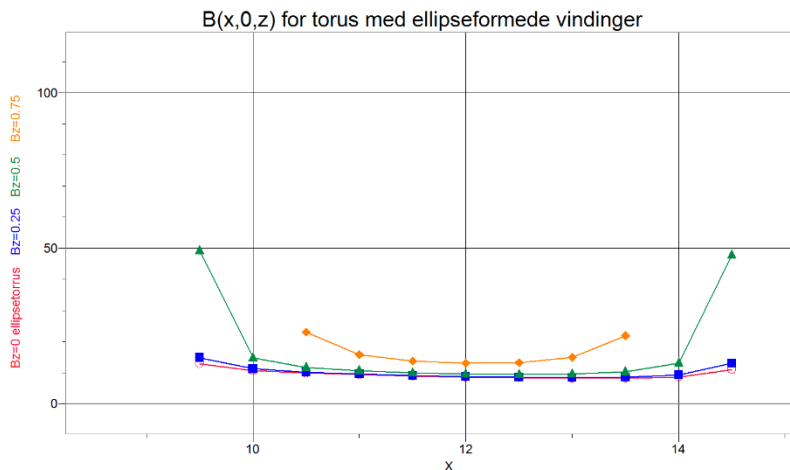
Bemærkning B feltstyrken for en torus med cirkelformede vindinger vokser ind mod origo, og vokser væk fra x - y planet. For samme afstand fra origo i x - y planet er B -feltet næsten konstant. B -feltet vokser tæt på vindingerne, dvs i eksemplet når x nærmer sig 16 .se bilag 2.

Den ellipseformede torus:

X	Bz=0 ellipsetoruss	Bz=0.25	Bz=0.5	Bz=0.75
9,5	12,851131458	14,84103413	49,316937838	
10	10,68619682	11,250625894	14,746673839	
10,5	9,894468781	10,188203923	11,737867364	23,013639868
11	9,371341721	9,576962876	10,588938693	15,795950896
11,5	8,957163149	9,132349752	9,959645083	13,687652458
12	8,617030946	8,790317008	9,587902131	12,999248556
12,5	8,349259007	8,543987272	9,430130808	13,252751088
13	8,178568571	8,426445518	9,563973168	14,967864939
13,5	8,1872889	8,552224122	10,308218716	21,892997121
14	8,655360726	9,325793504	13,116768535	
14,5	10,937247446	13,05781668	47,872487425	

Fig 13

B-feltstyrken for torussen med ellipseformede vindinger hvor der løber en strøm, i x-y planet med 50 vindinger. Hvis Magnetfeltstyrken skal være i Tesla, skal tallene for "B(x,0,z)" mm ganges med $\frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I$, når afstandene er i m. se bilag 2



Den øverste graf er B-feltet 0.75 enheder over x-y planet, den næstøverste graf er B-feltet 0.5 enheder over x-y planet, den næstnederste graf er B-feltet 0.25 enheder over x-y planet. Den nederste graf er B-feltet i x-y planet.

B-feltet er symmetrisk om x-y planet så $B(z=0.25) = B(z=-0.25)$ etc.

Bemærkning B-feltet for en torus med ellipseformede vindinger vokser ind mod origo, og ind mod kanten af torussen og vokser også væk fra x-y planet. se bilag 2

B-felterne for de to torusser ligner næsten hinanden, men B-feltets variation for torussen med ellipseformede vindinger er meget større. Jo tyndere ellipsen er jo større variation i B-feltet væk fra x-y planet. Hvis de to torusser kombineres rigtigt vil der kunne laves en torus med magnetfælde for ladede partikler:

Beregnet B-felt for torussen med cirkelformede vindinger med torussen med de ellipseformede vindinger indeni.

X	Bz=0	Bz=0.25	Bz=0.5	Bz=0.75
9,5	18,72151832	16,731632824	-17,744221297	
10	19,306715309	18,742308074	15,246323005	
10,5	18,66893923	18,375232369	16,82565026	5,550009878
11	17,892245843	17,686662319	16,67479411	11,467956138
11,5	17,119285698	16,944150625	16,117002045	12,389231121
12	16,370761197	16,197548666	15,400171988	11,989159437
12,5	15,63643744	15,44182114	14,555993719	10,733876887
13	14,881861661	14,634176987	13,497192214	8,094164296
13,5	14,018941511	13,65441784	11,899596256	0,316705147
14	12,777212326	12,107972236	8,320448997	
14,5	9,88555813	7,76952044	-27,031972807	

Fig 14 Tabel over B-feltstyrken for kombinationen af de to torusser, hvis strømstyrken i den cirkelformede torus er modsatrettet og tre gange så stor som den ellipseformede torus. Tallene i kolonnerne med B z skal ganges med $\frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi}$ for at få B-feltet i T, hvis I er strømstyrken i A og x er i m. B-feltet er symmetrisk om x-y planet dvs $B(z) = B(-z)$

Tabellen viser at B-feltet er størst for $x \approx 10$ både horisontalt og vertikalt og at det aftager med afstanden fra x-y planet.

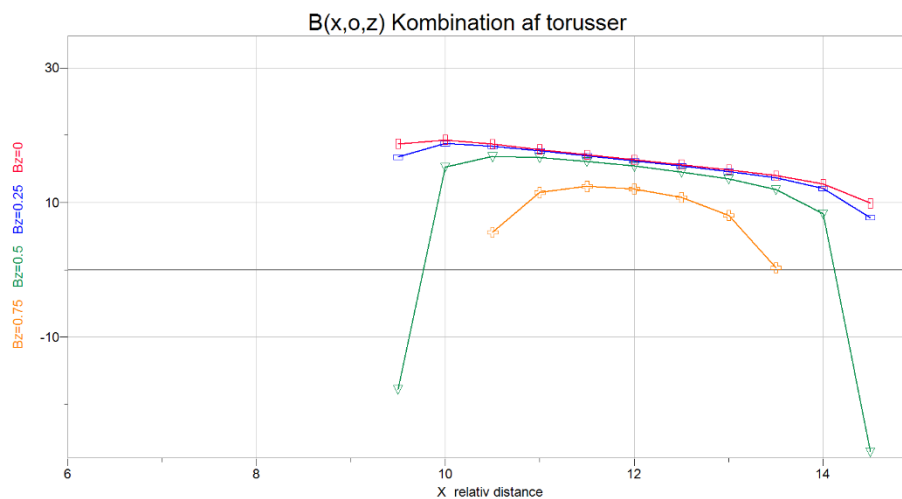


Fig 15 B-feltet i x-y planet for kombinationen af torusser.

Her er den øverste graf B feltet i x-y planet, den næst øverste graf B-feltet 0.25 over x-y planet etc.

De ses at B-feltet er størst for $x \approx 10$ i x-y planet.

Det samme gælder for det vertikale B-felt, og at det aftager med afstanden fra x-y planet.

I almindelige torusser og Tokamakker

er det en udfordring at få de ladede partikler til at blive inden i torussen. De vil relativt hurtigt bevæge sig ud til siderne af torussen. Det er ikke helt tilfældet med den omtalte kombination af torusser.

Der vil være et område i kombinationen af torusserne, se ringen i den indre ellipse på fig 10, hvor magnetfeltet er størst.

Delkonklusion på beregningerne viser at det er muligt at indsætte en torus med ellipseformede vindinger, hvor magnetfeltet er størst inden i kombinationen af torusser.

Simulationer af en ladet partikels bevægelse i en torus, hvor magnetfeltet er størst inden i torussen, og ikke ved torussens kant.

Hvis B-feltet er størst inden i en torus er den første tanke, at de ladede partikler vil spiralere ind mod de steder hvor B-feltet er størst. Men simulationer viser at der kan ske uventede ting.

I de følgende simulationerne er der benyttet en model hvor B feltet er størst i x-y planen på en cirkel om origo. B-feltet aftager lineært fra denne cirkel.

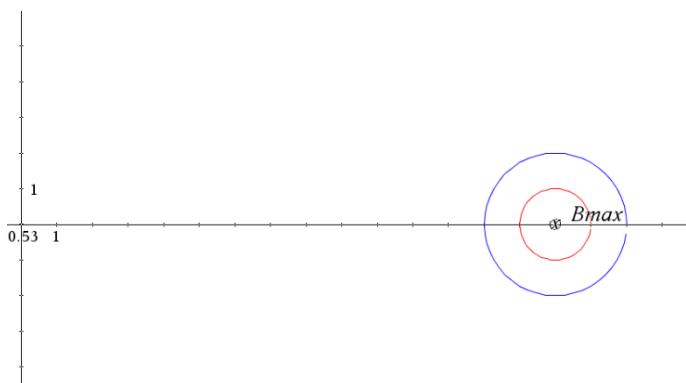
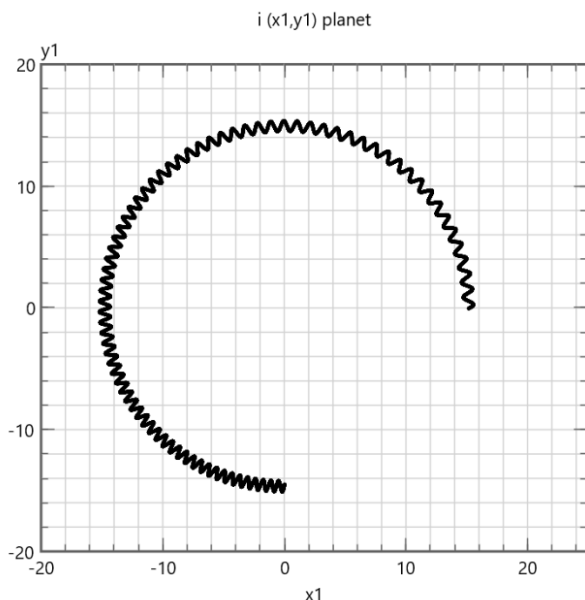


Fig 16 Tværsnit af torus med B-feltet angivet. B er rettet indad på papiret/skærmen. B er størst i centrum af tværsnittet.

Alle simulationerne er lavet ud fra samme type magnetfelt.

Se bilag 3, hvor simuleringsprogrammet i Fpro også står.

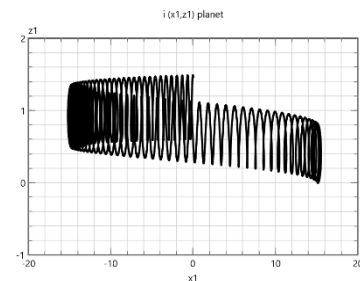
Eksempler på simuleringer af ladede partiklers bevægelse i torus med magnetfælde:



Eksempel 1

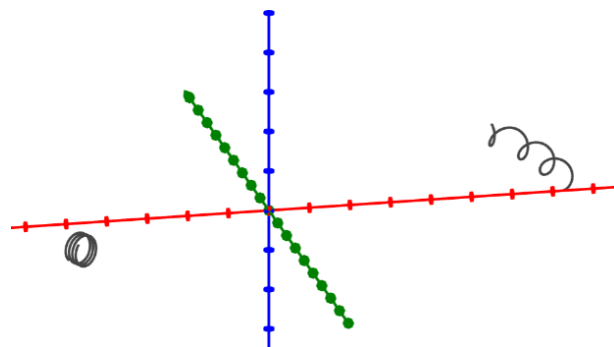
Fig 17 Simulation af ladet partikels bevægelse i torus med magnetfælde, hvor startfarten i vertikal retning er dobbelt så stor som startfarten i horisontal retning set ovenfra med startpunkt (15,0)

Fig 18 th variationen i vertikal retning, bemærk at inddelingerne på x og z akser ikke er den samme



Det ses at de ladede partikler (i eksemplet positive ladede partikler) bevæger sig lidt opad fig 12

Fig 19 th Starten af de ladede partiklers bevægelse til højre og slutningen af bevægelsen til venstre, i et tredimensionalt koordinatsystem. Bevægelsen omkring den lodrette akse stopper op, samtidigt med at der kommer flere rotationer pr tid om en næsten lodret cirkel.



Eksempel 2

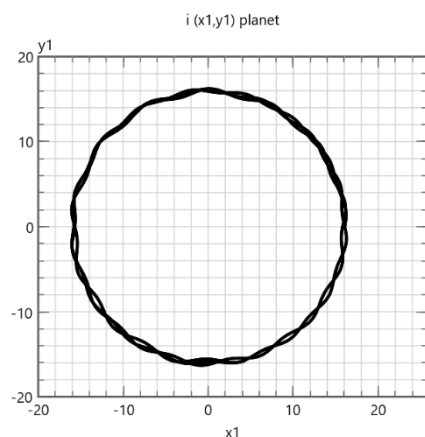


Fig 20 viser et eksempel hvor startfarten i vertikal retning er nul, og der kun er en hastighed parallelt med B-feltet i starten. Efter lidt flere omgange vil der ske det samme som i eksempel 1. Bevægelsen "stopper" op.

Eksempel 3

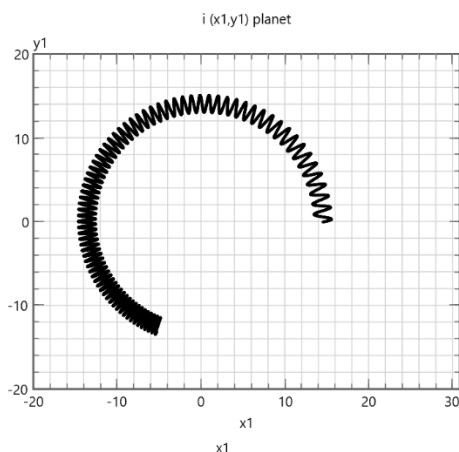
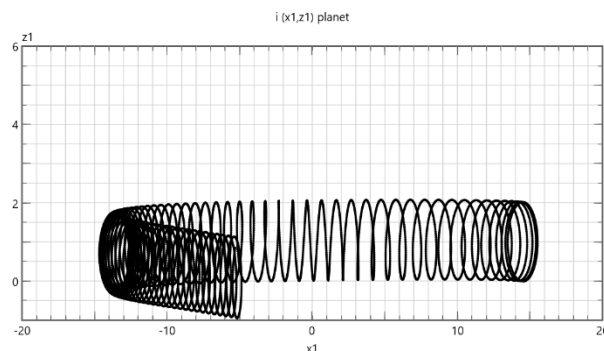


Fig 21 tv viser et eksempel hvor det totale magnetfelt er meget kraftigt. De ladede partikler "stopper" hurtigt op. Fig 16 th viser bevægelsen vertikalt

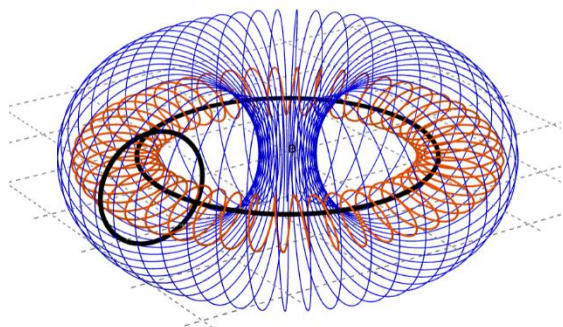


De fleste simuleringer viser, at en ladet partikel i torusser med magnetfælde forholdsvis hurtigt "stopper" op, selv når den vertikale startfart er relativt lille.

Andre simuleringerne viser også at selv om hastigheden pludselig ændres blive de ladede partikler inden i torussen med magnetfælden!

Magnetfælde med magnetisk spejl

Fig 22



Indsættes der en ekstra spole i torussen med magnetfælde se den lodrette cirkel på fig 17, kan de ladede partikler bevæge sig frem og tilbage i torussen uden at slippe ud. Bevæger ladningerne sig frem og tilbage vil de elektriske kræfter, der er mellem elektronernes bane og de positive ioners bane, være lille.

Konklusion

Beregningerne viser at det er muligt at indsætte en torus med ellipseformede vindinger i en anden torus, hvor magnetfeltet bliver størst inden i kombinationen af torusser.

Simuleringerne viser at torussen med de ellipseformede vindinger virker som en fælde for ladede partikler, der vil blive inden i torusserne, selv hvis de ladede partiklers hastighed ændres noget.

Magnetfælden med magnetisk spejl vil gøre det muligt for de ladede partikler at blive inden i torusserne.

Afrunding

Nye muligheder giver nye udfordringer, det gælder også hvis der kan laves en torus med magnetfælde og magnetisk spejl som beskrevet. Udfordringer der måske først opdages når fysikopstillingen er lavet.

Den ellipseformede torus indsat i en cirkelformet torus giver det ønskede resultat, at der kan laves en magnetfælde. Men der findes mange andre løsninger for specielt snoede vindinger, der giver det samme. Den ellipseformede torus er på mange måder lettere at forstå, så den er med her for, at vise at magnetfeltet i en kombination af torusser ikke nødvendigvis er som i gængse tokamakker/torusser.

I denne slags B-felter viser mine simuleringer at det er et overordentligt stabilt system, selvom ladningernes hastighed, af en eller anden grund ændres markant.

Hvordan et plasma i denne slags magnetfelter opfører sig, er desværre uden for min viden om plasmafysik:

Et plasma vil være delt op med elektronerne tættest på der hvor B-feltet er størst og positive ladninger p.gr.a deres større masse vil kredse uden om. Vil de forbliver opdelt på denne måde i den beskrevne slags magnetfelt?

I almindelige torusser skal pinch effekten opveje det udadrettede palsmatryk. Det er måske ikke nødvendigt i denne slags torusser, hvis bare B-feltet er stort nok?

Hvis teorien er rigtig, at alle ladninger fanges i denne slags torus, og at min metode til at lave denne slags torusser, er rigtig og mulig at lave, er det selvfølgelig mit håb, at det kan anvendes på en eller anden måde i fusionskraftværker. Det kan der sikkert regnes forholdsvis hurtigt på.

Jeg hører gerne, hvis jeg har taget fejl i min teori om ladninger i et B-felt, der er størst i origo, og hvis der er fejl i mine beregninger og simuleringer.

Ladningerne vil **ikke** drifte ud til siderne i min kombination af torusser.

Mvh

Klaus Nielsen

Lektor Cand. Scient. i fysik og matematik