Manuale dell'insegnante v.1.0

Introduzione generale

L'energia svolge un ruolo fondamentale nella nostra società moderna. Con la crescente crescita delle tecnologie e del numero di utenti di tutte queste tecnologie, si stima che la domanda di energia a livello mondiale sia in continuo aumento. Se dovessimo continuare a generare energia, alla fine la domanda sarà superiore a quella che potremmo offrire. Pertanto, questa serie di lezioni fornirà una panoramica su una possibile soluzione energetica futura: la fusione nucleare.

La serie è composta da cinque moduli diversi. Il primo modulo inizia con un ampio approccio al problema dell'energia e ai corrispondenti argomenti di fisica necessari per la fusione nucleare. I quattro moduli successivi tratteranno quattro diversi aspetti della fusione: La strada verso la fusione, Il controllo del plasma, I materiali per la fusione e L'impiego della fusione. Questi moduli possono essere scelti in modo indipendente dopo aver completato il modulo 1.

Questa serie di lezioni è destinata all'istruzione pre-universitaria: livello ISCED 3-4.

Uso dei Moduli

I quaderni per studenti sono costituiti da diversi materiali didattici: i riquadri colorati, chiamati "a parte", forniscono spiegazioni aggiuntive sugli argomenti di base. L'utilizzo in classe è facoltativo.

I riquadri chiari contengono esercizi da svolgere in classe. Questi possono essere utilizzati durante la lezione per ulteriori discussioni e possono servire come verifica della comprensione del materiale da parte degli studenti.

Accanto al modulo sono presenti anche esercizi aggiuntivi. Questi esercizi sono scalati da * a ***, dove * corrisponde a problemi introduttivi e *** a problemi più impegnativi.

Il contenuto completo di un modulo è costituito da:

- Un quaderno per lo studente
  - comprese le esercitazioni in classe
- Esercizi supplementari
- Un PowerPoint
  - Comprese le esercitazioni in classe
- Manuale dell'insegnante
  - Comprese le seguenti appendici
    - Tabella delle costanti e dei fattori di conversione
    - Risposte alle esercitazioni in classe
    - Risposte agli esercizi supplementari

Indice del manuale dell'insegnante

Introduzione generale 1
Capitolo 1: Obiettivi di apprendimento 3
Capitolo 2: Prerequisiti 3
Capitolo 3: Argomenti del Modulo 1 per capitolo 3
Capitolo 4: Breve sintesi del modulo 1 4
Capitolo 5: Schemi di base delle lezioni 5
Capitolo 6: Uso di PowerPoint e altre idee per l'introduzione della lezione 12
Capitolo 7: Ulteriori riferimenti per lo studio e il divertimento per il modulo 1 12
Appendice A: Tabella delle costanti e dei fattori di conversione 15
Appendice B: Soluzioni agli esercizi in classe 16
Appendice C: Soluzioni agli esercizi supplementari 20

Capitolo 1: Obiettivi di apprendimento

Al termine di questo modulo, gli studenti saranno in grado di:

- Comprendere il legame tra il cambiamento climatico e il problema energetico.
- Spiegare le basi della fusione
- Comporre le equazioni delle reazioni di fusione
- Spiegare l'utilizzo e il contenuto di un plasma
- Comprendere le basi del confinamento magnetico
- Comprendere la geometria di un tokamak
- Spiegare la differenza tra le tre diverse bobine di campo del tokamak
- Comprendere le basi dei campi magnetici nel tokamak

Capitolo 2: Prerequisiti

I contenuti di questo modulo possono servire come esempi o applicazioni di conoscenze apprese in precedenza. Tuttavia, tali conoscenze *non sono* necessarie per iniziare questo modulo. Ciò vale soprattutto se sono state svolte lezioni precedenti su uno dei seguenti argomenti:

- Fisica atomica
- Elettricità
- Magnetismo
- Legge dei gas ideali
- Energia e conservazione dell'energia

Se ci sono già conoscenze su uno o più di questi argomenti, può essere utilizzato come riepilogo.

Capitolo 3: Argomenti del Modulo 1 per capitolo

Il primo modulo inizia con un ampio approccio al problema dell'energia e ai corrispondentiargomenti di fisica:

1. Energia
    - Problemi e soluzioni della domanda di energia
        - Cambiamento climatico
        - Crescita della popolazione
        - Uso e produzione di energia
    - Fusione nucleare
    - Energia cinetica
2. Astrofisica
    - Il Sole
    - Fisica atomica
        - Il modello atomico di Rutherford
        - Reazioni nucleari dell'idrogeno
        - Isotopi e ioni
3. Plasma: il quarto stato della materia
    - parametri del gas
        - Densità
        - Temperatura

- Interazione elettrostatica
  - Cariche
  - Campi elettrici
- Particelle cariche in campi magnetici
  - Campo magnetico
  - Forza di Lorentz

4. Costruire un dispositivo per la Fusione
   - Elettricità
     - Correnti
     - Trasformatori
       - Trasformatore ideale
   - Elettromagnetismo
     - Bobine
     - Forza elettromotrice
     - Flusso magnetico
     - Intensità del campo magnetico
     - Fusione a confinamento magnetico
   - Geometria di un toro
     - Tokamak

Capitolo 4: Breve sintesi del modulo 1

L'obiettivo di questo capitolo è introdurre o riassumere una selezione di argomenti rilevanti per la comprensione della fusione nucleare e del suo contesto. Per l'utilizzo di questo capitolo nelle lezioni non è richiesta alcuna preparazione sugli argomenti sopra elencati.

Nel primo capitolo si presuppone che gli studenti abbiano sentito parlare di cambiamenti climatici, anche se non è necessaria una conoscenza approfondita dell'effetto serra o del dibattito politico. Il cambiamento climatico è usato come punto di partenza, da cui si ragiona verso un problema energetico globale, che viene poi discusso.

Nel secondo capitolo verranno spiegate le basi della fisica atomica. Se gli studenti possiedono già delle conoscenze di base, il capitolo può essere utilizzato principalmente come riepilogo. Se non sono presenti conoscenze di base, questo capitolo serve come testo introduttivo. Le cariche elettriche e il ruolo delle cariche elettriche negli atomi e nei nuclei sono spiegati a livello di base. Questo capitolo può servire come introduzione alternativa alla fisica atomica a livello di scuola secondaria, al posto del normale programma di studi. Vengono discussi i concetti di temperatura e densità.

Il terzo capitolo introduce il concetto di plasma. Si presume che la parola plasma sia conosciuta a causa dell'influenza della cultura popolare e della comparsa di schermi al plasma, ma si presume che il concetto di plasma da un punto di vista scientifico sia sconosciuto. Anche in questo caso ci si concentra sulla carica elettrica e sulla conseguente attrazione e repulsione delle particelle cariche.

Dopo l'introduzione, vengono approfonditi due argomenti principali riguardanti il tokamak: la geometria e i principali magneti utilizzati per creare il campo magnetico all'interno del tokamak. Si tratta delle bobine di campo toroidali, del solenoide centrale e delle bobine poloidali. La combinazione di queste bobine dà luogo a un campo magnetico elicoidale. In questo capitolo viene fornita una breve spiegazione di un solenoide di base e delle possibilità che offre. Se gli studenti non hanno familiarità con l'induzione elettromagnetica, si consiglia di iniziare con l'inciso.

Capitolo 5: Schemi di base delle lezioni

Sono previsti quattro possibili schemi di lezione di base. Ogni schema dipenderà dal tempo disponibile e dalle conoscenze degli studenti. Si è scelto di dare uno schema di lezione di 15 minuti e uno di 1 ora per una lezione introduttiva sulla fusione per studenti medi e avanzati.

Lo schema iniziale può essere utilizzato se molti o tutti gli argomenti non sono familiari agli studenti. Gli schemi avanzati possono essere utilizzati quando la maggior parte degli argomenti importanti perla fusione sono noti agli studenti. Pertanto, lo schema avanzato avrà anche un'introduzione più breve e più tempo per la discussione e gli esercizi.

Gli schemi avanzati servono come esempio, sentitevi liberi di scegliere gli argomenti e/o i capitoli adatti alla vostra classe.

Per tutti gli schemi di lezione le attività degli studenti prevedono l'ascolto, la discussione, la formulazione di domande e il lavoro sugli esercizi.

15 minuti di lezione introduttiva per studenti medi

Gli obiettivi di questa lezione sono due: innanzitutto fornire una breve introduzione ai cambiamenti climatici e al problema dell'energia, in secondo luogo creare entusiasmo e curiosità verso l'argomento.

Il materiale necessario copre solo il primo capitolo del modulo; da pagina 1 a 8, incluso l'esercizio in classe 1.1. Inoltre, possono essere utilizzate le diapositive da 1 a 6 del PowerPoint, il video su "Abbiamo bisogno dell'energia nucleare per fermare il cambiamento climatico?"[1] e gli esercizi aggiuntivi con *. L'appendice contiene materiale di lettura aggiuntivo per gli studenti.

È possibile organizzare una discussione a livello di classe dopo aver introdotto l'argomento, oppure creare dei gruppi e lasciare che gli studenti discutano l'argomento e presentino le loro conclusioni. Dopo l'introduzione e/o la discussione, gli studenti possono leggere il libro degli studenti, fare esercizi o lavorare su argomenti a loro scelta.

La preparazione per questa lezione prevede:

- Scaricare il PowerPoint
- Mettere a disposizione degli studenti il modulo e gli esercizi
- Preparazione dell'esercizio in classe 1.1. (Dipende dal paese in cui si vive, vedi appendice B)

[1] Vedere il capitolo 7 per altri video ed esperimenti!

Durata	Attività dell'insegnante	I materiali	Attività degli studenti
3 min	Introduzione all'argomento	Capitolo 1 Diapositiva di PowerPoint: 1e 2 e/o video kurzgesagt Kurzgesagt - in breve: Abbiamo bisogno dell'energia nucleare per fermare il cambiamento climatico?	Ascoltare
5 min	Discutere l'esercizio in classe. 1.1	Capitolo 1 PowerPoint: diapositive 3 e 4	Discussione aperta in classe/piccolo gruppo di 4 persone.
3 min	Presentazione del capitolo 1: Problema energetico	Capitolo 1 PowerPoint: diapositive 5 e 6	Ascoltare, fare domande
5 min		Modulo 1 Esercizi supplementari da A.1 a A.3	Leggere il capitolo 1, compreso l'inciso. Lavorate sugli esercizi individualmente/ in coppia a casa o in classe.

15 minuti di lezione introduttiva per studenti avanzati

Gli obiettivi di questa lezione sono tre. Il primo è fornire una breve introduzione al cambiamento climatico e al problema dell'energia. Il secondo è creare entusiasmo e curiosità verso l'argomento. Il terzo è un breve riassunto di uno o più argomenti riguardanti i problemi energetici.

Il materiale necessario copre il primo capitolo del modulo; da pagina 1 a 8, compreso l'esercizio 1.1.Poi il materiale dipende dal capitolo scelto. Ad esempio, il terzo capitolo sul plasma. Inoltre, si possono utilizzare le diapositive da 1 a 6 e da 18 a 29 del PowerPoint e gli esercizi aggiuntivi di ** e
***. Si tratta degli esercizi da A.1 ad A.3 e da A.9 ad A.10. È possibile utilizzare alcuni video diYouTube, vedi capitolo 7.

La preparazione per questa lezione prevede

- Scarica il PowerPoint
- Mettere a disposizione degli studenti il modulo e gli esercizi
- Preparare l'esercizio in classe 1.1. (Dipende dal paese in cui si vive, vedi appendice B).

Le attività per gli studenti prevedono l'ascolto, la discussione e lo svolgimento di esercizi. Dopo l'introduzione, gli studenti possono leggere il libro degli studenti, lavorare sugli esercizi o lavorare su argomenti di loro scelta per aumentare le loro conoscenze su uno specifico argomento. Gli studenti possono formare un gruppo di studio su un argomento scelto per discutere il materiale.

Durata	Attività dell'insegnante	I materiali	Attività degli studenti
1 min.	Introduzione all'argomento	Capitolo 1 Diapositiva di PowerPoint: 1 e 2	Ascoltare
3min	Discutere l'esercizio in classe. 1.1	Capitolo 1 PowerPoint: diapositive 3 e 4	Discussione aperta classe/piccolo gruppo di 4 persone.
2 min	Presentazione del capitolo 1: Problema energetico	Capitolo 1 PowerPoint: diapositive 5 e 6	Ascoltare, fare domande
4 min	Presentare un capitolo a scelta, ad esempio il capitolo 3. plasma	Capitolo 3 PowerPoint: diapositive da 18 a 21	Ascoltare, fare domande
2 min	Discutere l'esercizio in classe. 1.3	Capitolo 3 PowerPoint: diapositive 22 e 23	Risposta rapida!
5 min	Presenta il capitolo a scelta, ad esempio, il Capitolo 3 plasma	Capitolo 3 PowerPoint: diapositive da 24 a 29	Ascoltare, fare domande
		Modulo 1 Esercizi supplementari: A.1 fino a A.3 e A.9 fino a A.10	Leggi il capitolo Lavorare individualmente/in coppie a casa o in classe

1 ora di lezione introduttiva per studenti medi

L'obiettivo di una lezione di un'ora è quello di creare entusiasmo e curiosità verso l'argomento e di approfondire gli argomenti fisici alla base della fusione. Per cominciare, l'obiettivo dovrebbe essere incentrato sul funzionamento interno di un atomo e sulla comprensione delle reazioni nucleari, dandosolo un breve accenno ai plasmi e ai campi magnetici.

Il materiale necessario copre l'intero modulo 1, con particolare attenzione ai capitoli uno, due euna parte del capitolo quattro. Si possono utilizzare gli esercizi supplementari * ed eventualmente **. Il materiale a margine è materiale di lettura per gli studenti. È possibile utilizzare l'intero PowerPoint.

La preparazione per questa lezione prevede

- Scarica il PowerPoint
- Mettere a disposizione degli studenti il modulo e gli esercizi
- Preparate l'esercizio in classe 1.1. (Dipende dal paese in cui vivete, vedi appendice B).

A seconda degli studenti, è possibile tenere una lezione completa di tutti gli argomenti o dividere la lezione in quattro parti diverse. Ogni parte comprende l'introduzione di uno dei capitoli, il tempo per la discussione in classe e lo spazio per gli esercizi.

Durata	Attività dell'insegnante	I materiali	Attività degli studenti
3 min	Introduzione all'argomento	Capitolo 1 Diapositiva di PowerPoint: 1e 2 e/o video kurzgesagt Kurzgesagt - in breve: Abbiamo bisogno dell'energia nucleare per fermare il cambiamento climatico?	Ascoltare
5 min	Discutere l'esercizio in classe. 1.1	Capitolo 1 PowerPoint: diapositive 3 e 4	Discussione aperta in classe/piccolo gruppo di 4.
3 min	Presentazione del capitolo 1: Problema energetico	Capitolo 1 PowerPoint: diapositive 5 e 6	Ascoltare, fare domande
5 min		Modulo 1 Esercizio supplementare A.1	Lavorare individualmente/ lavorare in coppia/ esercitarsi con classe intera
10-15 min	Presentazione del capitolo 2: La fusione all'interno del nostro sole fino alla classe esercizio 1.2	Capitolo 2 Diapositiva di PowerPoint:Da 7 a 13	Ascoltare, fare domande,
5 min	Discutere l'esercizio in classe. 1.2	Capitolo 2 Diapositiva di PowerPoint:Da 14 a 15	Discussione aperta in classe/piccolo gruppo di 4 persone.
2 min	Presentazione del capitolo 2: La fusione all'interno del nostro sole	Capitolo 2 Diapositiva di PowerPoint:16 e 17	Ascoltare, fare domande

5 min		Modulo 1 Esercizio supplementare A.4	Lavorare individualmente/ lavorare a coppie/ esercizio con l'intera classe
10-15 min	Presentazione del capitolo 3:	Capitolo 3 Diapositiva di PowerPoint:Da 18 a 21 E il video Ted-ed - solido, liquidi, gas e ... plasma	Ascoltare, fare domande
2 min	Discutere l'esercizio in classe. 1.3	Capitolo 3 Diapositiva di PowerPoint:22 e 23	Discussione aperta dopo che gli studenti hanno fatto una scelta
5-7 min		Capitolo 3 Diapositiva di PowerPoint:Da 24 a 27	Ascoltare, fare domande
2 min	Discutere l'esercizio in classe. 1.4	Capitolo 3 Diapositiva di PowerPoint:28 e 29	Discussione aperta dopo che gli studenti hanno fatto una scelta

1 ora di lezione introduttiva per studenti avanzati

L'obiettivo di una lezione di un'ora è quello di creare entusiasmo e curiosità verso l'argomento e di immergersi negli argomenti fisici di base della fusione. Agli studenti avanzati si consiglia di iniziare con un breve riassunto degli argomenti noti e poi di immergersi nei plasmi e nei campi magnetici.

Il materiale necessario copre l'intero modulo 1, con particolare attenzione ai capitoli uno, tre e quattro. Il materiale a parte è materiale di autoapprendimento per gli studenti. Si possono utilizzare gli esercizi aggiuntivi ** e ***. È possibile utilizzare l'intero PowerPoint.

La preparazione per questa lezione prevede

- Scarica il PowerPoint
- Mettere a disposizione degli studenti il modulo e gli esercizi
- Preparare l'esercizio in classe 1.1. (Dipende dal paese in cui si vive, vedi appendice B).

Se gli argomenti sono già noti agli studenti, è opportuno invertire il ruolo di insegnante e studente in classe. L'insegnante fa solo domande e gli studenti devono spiegare gli argomenti. Lasciate che gli studenti discutano tra loro se non sono d'accordo.
Gli esercizi in classe possono essere utilizzati per dare agli studenti un assaggio del capitolo, per farli discutere prima della presentazione del capitolo.

Durata	Attività dell'insegnante	I materiali	Attività degli studenti
2 min	Introduzione dell'argomento	Capitolo 1 Diapositiva di PowerPoint: 1 e 2	Ascoltare
3 min	Discutere l'esercizio in classe. 1.1	Capitolo 1 Diapositiva di PowerPoint: 3 e 4	Discussione aperta classe/piccolo gruppo di 4 persone.
2 min	Presentazione del capitolo 1: Problema energetico	Capitolo 1 PowerPoint: diapositive 5 e 6	Ascoltare, fare domande
5 min	Iniziare con la discussione dell'esercizio in classe. 1.2	Capitolo 2 PowerPoint: diapositive 14 e 15	Discussione aperta in classe/piccolo gruppo di 4 persone.
10 min	Cambia il ruolo: l'insegnante diventa studente e lo studente diventa insegnante. Mostrare solo le diapositive degli argomenti noti del capitolo 2: Fusione all'interno del nostro sole, lasciate che siano gli studenti a spiegarlo! Ascoltare/ fare domande	Capitolo 2 Diapositiva di PowerPoint:Da 7 a 11	Lasciate che lo studente spieghi (brevemente) l'argomento e le diapositive.
5 min	Presentazione del capitolo 2: La fusione all'interno del nostro Sole: criteri per la fusione	Capitolo 2 Diapositiva di PowerPoint: 12, 13, 16 e 17	Ascoltare, fare domande

5 min	Presentazione del capitolo 3: Plasma fino all'esercizio in classe	Capitolo 3 PowerPoint: diapositive da 18 a 21	Ascoltare, fare domande
3 min	Discutere in classe l'esercizio 1.3	Capitolo 3 PowerPoint: diapositive 22 e 23	Discussione aperta in classe
5 min	Presentazione del capitolo 3: Il plasma dopo esercizio in classe	Capitolo 3 PowerPoint: diapositive da 24 a 27	Ascoltare, fare domande
5 min	Discutere in classe l'esercizio 1.4	Capitolo 3 PowerPoint: diapositive 28 e 29	Discussione aperta in classe
15 min	Presentazione del capitolo 4:	Capitolo 4 PowerPoint: diapositiva 30, 31, 36, 39 fino a 45 e 48	Ascoltare, fare domande
Compiti a casa	*esercizio in classe. 1.5, 1.6 e 1.7*	*Capitolo 3 PowerPoint: diapositive da 32 a 35, 37 e 38 e 46 e 47*	

Capitolo 6: Uso di PowerPoint e altre idee per l'introduzione della lezione

Sul sito è disponibile un PowerPoint (per ogni modulo). https://fusenet.eu/education/material.

Il PowerPoint contiene l'intero modulo, compresi gli esercizi in classe e le risposte, e può essere utilizzato direttamente in classe. Ci sono alcune immagini extra utilizzate per spiegare gli argomenti. Se c'è un possibile video di Phet su YouTube che può essere utilizzato per un argomento, lo si consiglia nel capitolo 7. Per una panoramica del materiale extra si veda il capitolo 7. È possibile adattare il PowerPoint agli argomenti trattati in classe.

Per introdurre i diversi argomenti del modulo 1, è possibile far svolgere agli studenti un esercizio di preparazione a casa per ogni argomento. Potrebbe trattarsi di uno o più esercizi * degli esercizi supplementari. Per la preparazione possono essere utilizzati anche alcuni argomenti tratti da "Ulteriori riferimenti per lo studio e il divertimento".

Capitolo 7: Ulteriori riferimenti per lo studio e il divertimento per il modulo 1

Per insegnanti

Quanto segue contiene informazioni generali di base (in inglese) per gli insegnanti di questo modulo. Queste informazioni sono destinate solo alla vostra conoscenza e comprensionedell'argomento. È possibile utilizzare questi contenuti in classe, ma devono essere adattati al livello degli studenti.
Alcuni siti forniscono informazioni sugli argomenti trattati o relativi a questo modulo. Altri siti forniscono anche immagini, esercizi (con o senza risposte) e appunti extra delle lezioni. Sotto ogni URL c'è una breve introduzione di ciò che si può trovare.

a. Sito web di FuseNet - https://www.fusenet.eu/education/material
   Qui potete trovare gli altri quattro moduli. Inoltre, sono disponibili anche documenti teorici, corsi ed esperimenti su argomenti correlati a questa serie di lezioni.

b. MIT Open Course Ware - https://ocw.mit.edu/courses/simulations-applets-and-visualizations/#materials-science-and-engineering
   In questo sito è possibile trovare appunti di lezioni, vecchi esami ed esercizi sulla fisica nucleare e la risonanza magnetica nucleare nella sezione 'scienze nucleari e ingegneria".

c. EUROFusion - https://www.euro-fusion.org/ C'è una pagina speciale per gli studenti e gli educatori. Gli educatori troveranno maggiori informazioni sulle nozioni di base degli argomenti e una sezione di domande e risposte sulla fusione. Sono inoltre disponibili diapositive e presentazioni in PowerPoint che possono essere utilizzate gratuitamente. Gli studenti possono trovare lo stesso tipo di contenuti sul sito, ma le informazioni sono più mirate e adatte agli studenti. Può essere utilizzato sia da studenti medi che avanzati.

d. Fusione per l'energia - https://fusionforenergy.europa.eu/
   Questo sito web presenta belle animazioni sulla fusione e sulle sue basi. Utilizza spiegazioni chiare sui diversi argomenti del modulo 1 e anche su ITER. Tuttavia, acausa delle animazioni, il sito può essere lento.

Per insegnanti e studenti

I seguenti siti possono essere utilizzati per spiegare, approfondire, scoprire o ampliare gli argomenti del primo modulo. Alcuni possono essere utilizzati al posto di una presentazione o come integrazione alla presentazione di uno o più capitoli. Per tutte le simulazioni di Phet, che possono essere utilizzate senza registrazione, si consiglia di utilizzare un computer Windows. Ogni riferimento sarà inserito nel capitolo corrispondente. Dopo ogni URL verranno fornite informazioni sul contenuto e sul possibile utilizzo.

Capitolo 1: L'energia e il suo ruolo nel nostro mondo

- Kurzgesagt - in breve: Abbiamo bisogno dell'energia nucleare per fermare il cambiamento climatico? https://www.youtube.com/watch?v=EhAemz1v7dQ

  Durata: 10 minuti.
  La prima parte del video può essere utilizzata come introduzione del modulo, mentre fino a2:49 o 6:00 può essere utilizzata come introduzione e parte della spiegazione del capitolo 1.

Capitolo 2: la fusione all'interno del nostro Sole

- Phet - atomi, ioni e carica
  https://phet.colorado.edu/sims/html/build-an-atom/latest/build-an-atom_en.html
  First Phet può essere utilizzato per vedere la relazione tra i blocchi di costruzione e il nome atomico. Gli ioni e la carica possono essere determinati aggiungendo elettroni/protoni al modello. È davvero elementare e può essere utilizzato da studenti medi.
- Phet - relazione tra pressione, volume e temperatura
  https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_en.html
- scegliere il primo phet "ideale" per vedere la relazione tra pressione e temperatura. In
  Questo Phet consente di modificare queste grandezze durante il processo. Per questo modulo è opportuno impostare il volume come costante.

Capitolo 3: Plasma e campi elettrici

- Phet - effetto delle cariche all'interno di un campo

  https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-and-fields_en.html

  Gli studenti possono collocare una o più cariche in un campo e quindi appariranno le linee del campo elettrico. Quando si aggiungono altre cariche, il campo risponde a tali cambiamenti.
- Phet - hockey su prato elettrico
  https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/electric-hockey/latest/electric-hockey.html?simulazione=hockey elettrico
  Divertimento per gli studenti: l'hockey su prato elettrico è composto da tre livelli. Le cariche devono essere posizionate per far entrare il disco in porta.
- Ted-ed - Solidi, liquidi, gas e ... plasma di Michael Murillo
  https://www.youtube.com/watch?v=tJplytSR-ww
- Durata: 3:15
  Un breve video su YouTube che spiega un plasma. Molto chiaro. Può essere utilizzato per studenti medi, con qualche spiegazione dell'insegnante, e per studenti avanzati.

Capitolo 4: costruzione di un dispositivo di fusione

Kurzgesagt - in poche parole: L'energia da fusione spiegata
https://www.youtube.com/watch?v=mZsaaturR6E

Durata: 6:15
Video YouTube che spiega il confinamento inerziale, il confinamento magnetico e fornisce una breve panoramica di un dispositivo di fusione e delle sue possibilità. Può essere utilizzato come breve riassunto/introduzione dell'intero modulo.

- TSG Fisica La legge di Lenz con il tubo di rame
  https://www.youtube.com/watch?v=N7tIi71-AjA
  Durata: 1:39 minuti
  Questo silenzioso video di YouTube mostra il risultato dell'induzione magnetica. Una piccola sfera di ferro e un magnete sferico vengono messi a confronto mentre scendono lungo un tubo di rame. Dopo l'esperimento, il risultato viene spiegato brevemente.
- Simon Lloyd: dimostrazione della legge di Lenz con un tubo di rame e un magnete al neodimio.
  https://www.youtube.com/watch?v=nrkOZsECrZI
- Durata: 2:40 minuti
  Un video YouTube più lungo che mostra anche il risultato dell'induzione magnetica. Questo video spiega meglio il funzionamento dell'induzione magnetica e può quindi essere utilizzatoper gli studenti medi.

Appendice A: Tavola delle costanti e fattori di conversione

Grandezza	Unità di Misura	Fattore di conversione in unità SI
Energia[2]	1 Caloria	4.184 J
Energia[3]	1 tonnelata equivalente di petrolio*	$4,2 * 10^{10}$ J
Energia[1]	1 kWh*	$3,6 * 10^{6}$ J
Massa[1]	1 Tonnellata	$1,0 * 10^{3}$ kg
Massa[1]	1 amu/u/ame	$1,66 * 10^{-27}$ kg
Temperatura[1]	0 °C	273.15 K
Pressione[1]	1 bar	$1,0 * 10^{5}$ Pa

Tabella A.1 fattori di conversione

*Gli studenti sono invitati a trovarli negli esercizi A.2.

Grandezza	
Temperatura del nucleo del Sole[2]	$1,571*10^{7}$ K
Temperatura superficiale del Sole[1]	5780 K
Densità (media) del Sole[3]	1408 kg/m^3
Densità del nucleo del Sole[2]	$1,622*10^{5}$ kg/m^3
Pressione del nucleo del Sole[2]	$2,477*10^{11}$ bar
Temperatura superficiale della Terra[1]	295 K
(media) Densità della Terra[2]	5514 kg/m^3
Massa dell'elettrone[1]	$9,109 *10^{-31}$ kg
Carica dell'elettrone[1]	$1,602*10^{-19}$ C
Massa del protone[1]	$1,673*10^{-27}$ kg
Carica del protone[1]	$1,602*10^{-19}$ C
Massa neutronica[1]	$1,675*10^{-27}$ kg

Tabella A.2 costanti

[1] Noordhoff uitgevers & NVON (2021). *Binas HAVO/VWO Informatieboek 6de editie (6e havo/vwo)* (01 ed.). Groningen, Nederland: Noordhoff Uitgevers.

[2] Scheda informativa sul sole. (2018). Recuperato il 13 luglio 2021, da https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html.

[3] Convertitore e glossario dell'AIE per le unità energetiche più comuni. Da https://www.iea.org/reports/unit- Convertitore e glossario

Appendice B: Soluzioni degli esercizi in classe

Esercizio in classe 1.1
La risposta dipende dal paese!

Le informazioni generali sono disponibili sul sito https://ourworldindata.org/energy-mix
Per paesi specifici https://ourworldindata.org/energy#energy-country-profiles
Per i Paesi Bassi https://ourworldindata.org/energy/country/netherlands#energy-mix
Su questi siti è possibile trovare il mix energetico di molti Paesi, ma c'è di più. Questo sito fornisce anche informazioni sulle diverse fonti energetiche, sui progressi nella decarbonizzazione e sul consumo di energia. Ci sono molti dati.

Esercizio in classe 1.2
Le densità energetiche, dalla più alta alla più bassa:
Deuterio - Uranio - Carbone - Petrolio - Benzina - Etanolo - Legno - Idrogeno (gas)

La densità energetica del deuterio dipende dalle condizioni di reazione. Tuttavia, le reazioni di fusione hanno la più alta densità energetica di tutti i combustibili, persino superiore a quella delle reazioni di fissione. L'energia rilasciata in 1 reazione di fusione è inferiore a quella rilasciata in 1 reazione di fissione, perché gli atomi fissionabili sono molto più grandi dei piccoli atomi utilizzati nella fusione.
Tuttavia, l'energia per unità di massa (per nucleone) è molto più grande per la fusione. Quindi, se si riempisse un certo volume interamente di nuclei di deuterio e li si facesse ipoteticamente fondere tutti insieme, si otterrebbe una quantità di energia maggiore rispetto allo stesso volume completamente riempito di nuclei di uranio che subiscono la fissione. I tre combustibili fossili (carbone, petrolio, benzina) hanno densità energetiche relativamente vicine. In questo caso i limiti superiori sono stati ricavati dai numeri che seguono:
Uranio: 1 539 842 000 MJ/L, fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density
Carbone: 34-42 MJ/L (antracite), o 26-49 MJ/L (bituminoso) fonte: idem
Petrolio: 37 MJ/L fonte: idem
Benzina: 34,2 MJ/L, fonte: idem
Etanolo: 24 MJ/L, fonte: idem
Legno: 2,56-21,84 MJ/L, fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_content_of_biofuel)
Idrogeno(gas): 0,01005-0,01188 MJ/L, fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density

Esercizio in classe 1.3
Risposta B

Grazie alle reazioni di ricombinazione, gli elettroni e gli ioni liberi possono ricombinarsi in un atomo neutro (particella gassosa) e in questo processo viene emessa luce. A seconda dei tipi di ioni, sono possibili diverse reazioni di ricombinazione. Poiché gli ioni (e gli atomi) hanno livelli energetici specifici, durante la ricombinazione possono verificarsi determinate transizioni per ioni specifici. Di conseguenza, il colore del plasma dipende dai tipi di particelle.
A causa della ricombinazione, un plasma è solitamente instabile poiché le particelle del plasma si ricombinano in particelle neutre (gas). Le particelle gassose devono essere ionizzate continuamente per mantenere il plasma stabile. Se una particella neutra appena formata si scontra con una particella ionizzata, c'è la possibilità che il neutro si ionizzi di nuovo.
Per quanto riguarda la risposta A: non tutti i plasmi hanno una temperatura elevata; esistono plasmi freddi. Il calore è un modo per ionizzare un gas, ma ce ne sono altri che non sono trattati in questo modulo. I plasmi freddi possono comunque brillare.
Per quanto riguarda la risposta C: le reazioni nucleari non avvengono naturalmente nei plasmi, tranne che nelle stelle. La maggior parte delle reazioni nucleari non emette luce, ad esempio la fusione D-D o D-T non emette fotoni.

Esercizio in classe 1.4

a. La corrente esce dal documento/foglio
   Il campo magnetico si incurva in senso antiorario

Utilizzando la regola della mano destra, scopriamo che se la direzione della corrente è uscente dal documento/foglio, il campo magnetico si incurva intorno al filo in senso antiorario. Se la direzione della corrente è entrante nel documento/foglio, il campo magnetico si incurva intorno al filo in senso orario.

b. Il campo magnetico all'interno della spira è **uscente dal** documento/foglio
   Il campo magnetico all'interno della spira è **entrante nel** documento/foglio

Se disegniamo una spira circolare di filo con una corrente in senso antiorario, scopriamo che, utilizzando la regola della mano destra, la direzione del campo magnetico all'interno della spira è diretta verso l'esterno del documento/foglio, mentre la direzione del campo magnetico all'esterno della spira è verso l'interno del documento/foglio.

c. A causa della carica opposta e del moto opposto, il campo magnetico ha la stessa direzione per entrambe le particelle.

Se disegniamo il percorso circolare dell'elettrone sul foglio, con l'elettrone che si muove in senso orario, allora il campo magnetico all'interno del cerchio è diretto verso l'esterno del foglio, mentre all'esterno del cerchio il campo magnetico è diretto verso il foglio.
Se disegniamo il percorso circolare del protone sul foglio, con il protone che si muove in senso antiorario, il campo magnetico è esattamente lo stesso dell'elettrone. Il campo magnetico all'interno del cerchio è diretto verso l'esterno del foglio, mentre il campo magnetico all'esterno del cerchio è diretto verso il foglio. Questo perché il protone ha carica opposta: se un elettrone e un protone si muovessero nello stesso modo, genererebbero campi magnetici opposti. Se invertiamo la direzione e la carica, ci ritroviamo nella stessa situazione di prima.
Le direzioni sono esattamente le stesse della spira circolare di filo con una corrente in senso antiorario! Se la direzione della corrente è la stessa del moto del protone (una particella positiva), allora il campo magnetico ha esattamente la stessa direzione. Una corrente in un filo circolare è esattamente la stessa cosa di una particella carica che si muove in un percorso circolare, quindi i campi magnetici hanno la stessa direzione.

d. La direzione del campo magnetico è sempre perpendicolare alla direzione della corrente.

La direzione del campo magnetico è sempre perpendicolare alla direzione del moto delle cariche (e quindi anche alla direzione della corrente).

Esercizio in classe 1.5

a. Fate uno schizzo di un toro con un grande raggio maggiore, ma con un piccolo raggio minore.
   Che aspetto ha?

Una ciambella

b. Ora fate uno schizzo di un toro con un raggio maggiore piccolo e un raggio minore grande.
   Perché è più difficile da disegnare?

La ciambella diventa più sferica, il raggio minore non può essere più grande del raggio maggiore (altrimenti non è più un toro!).

c. Cosa succede se si rende il raggio maggiore sempre più piccolo mantenendo un raggio minore ampio? Quale forma si ottiene?

Se permettiamo che il raggio minore sia più grande del raggio maggiore e prendiamo il caso limite, otteniamo una sfera

Osservate ora i rapporti di aspetto dei due schizzi (a) e (b).

d. Cosa succede se il rapporto d'aspetto cambia?

Il toro cambia forma

e. Qual è il rapporto di aspetto più basso possibile per un toro?

Il raggio minore non può essere maggiore del raggio maggiore. Se sono uguali, il rapporto d'aspetto è al minimo, quindi rapporto d'aspetto = 1.

Esercizio in classe 1.6

A. Sezione trasversale toroidale:

B. Sezione trasversale poloidale:

C. Vista 3D:

a. Una è vista dall'alto: una ciambella di forma rotonda
   Uno è visto come un'intersezione della ciambella: quindi due cerchi.
b. La direzione poloidale è perpendicolare alla sezione trasversale poloidale. La direzione toroidale è perpendicolare alla sezione trasversale toroidale.

Si faccia un confronto con le sezioni trasversali di un cilindro: se prendiamo una sezione trasversale lungo la direzione z (dall'alto verso il basso), otteniamo un piano rettangolare che giace perpendicolare alla direzione z. Se prendiamo una sezione trasversale lungo l'altra direzione (poloidale o radiale, in questo caso entrambe risultano nella stessa sezione trasversale), otteniamo una sezione circolare perpendicolare alla direzione poloidale.

I magneti a campo toroidale si trovano intorno alla forma del toro in direzione poloidale. I magneti formano quindi delle spire nella sezione trasversale poloidale, creando un anello di corrente in direzione poloidale, che porta a un campo magnetico in direzione toroidale: da qui il nome di magneti a campo toroidale.
Allo stesso modo, i magneti del campo poloidale si trovano in direzione toroidale nella parte superiore e inferiore del toro. La corrente in questi magneti segue un ciclo toroidale, determinando un campo magnetico in direzione poloidale.

Esercizio in classe 1.7

a. le bobine di campo toroidali si trovano nella sezione trasversale poloidale del tokamak

I magneti orientati in senso poloidale creano un campo magnetico in direzione perpendicolare alla sezione trasversale poloidale, cioè in direzione toroidale. Quindi questi magneti creano un campo magnetico in direzione toroidale => bobine di campo toroidali (anche se si trovano nel piano poloidale)

b. Le bobine di campo poloidali si trovano in cima e in fondo al toro. Il solenoide centrale si trova nel foro della ciambella.

Le bobine del campo poloidale si trovano in una sezione trasversale toroidale spostata; tuttavia, la direzione del campo magnetico è poloidale. Il solenoide centrale si trova al centro del tokamak. È un solenoide.

Esercizio in classe 1.8

a. L'induzione dipende da una variazione del flusso magnetico, ma il flusso magnetico non può continuare a cambiare continuamente, in alcuni punti c'è un limite dei magneti. Pertanto, il solenoide centrale funziona a impulsi.

L'induzione magnetica è il risultato di una variazione del flusso magnetico. Non è possibile continuare a cambiare il flusso magnetico all'infinito: c'è un limite: partiamo da una certa corrente e possiamo aumentarla fino a una certa corrente. Finché possiamo continuare ad aumentare (o diminuire) questa corrente, si verifica l'induzione e il tokamak può continuare a funzionare. Se non possiamo continuare a cambiare il flusso magnetico, l'induzione si ferma e il campo poloidale scompare.

b. Quando si usano gli impulsi c'è un momento in cui non viene generata energia, ma noi vogliamo che un reattore a fusione funzioni sempre. Pertanto, gli impulsi non sono ideali.

Appendix C: Solutions to additional exercises

v.1.0

Prossimamente!

This material has been created and distributed by FuseNet for educational purposes. This work has been carried out within the framework of the EUROfusion Consortium, funded by the European Union via the Euratom Research and Training Programme (Grant Agreement No 101052200 — EUROfusion). Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Commission. Neither the European Union nor the European Commission can be held responsible for them. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

FuseNet
The European Fusion Education Network