

Oppgaver i bølger og atom-/kjernefysikk fra TIMSS Advanced 2015

Arne Hole

Institutt for lærerutdanning og skoleforskning, UiO

Liv Sissel Grønmo

Institutt for lærerutdanning og skoleforskning, UiO

Tor Espen Hagen

Avdeling realfag, Lillestrøm videregående skole

I dette kapitlet presenterer vi resultater fra alle de frigitte fysikkoppgavene innen fagområdet bølger og atom-/kjernefysikk i TIMSS Advanced 2015. Kapitlet er basert på et samarbeid mellom forskere ved Institutt for lærerutdanning og skoleforskning på Universitetet i Oslo og realfagslærere ved Lillestrøm videregående skole i Akershus. Skolelaboratoriet ved Fysisk institutt på Universitetet i Oslo har også lest og kommentert et utkast til kapitlet. Det er de som står som forfattere av kapitlet, som er ansvarlige for kommentarene til oppgavene og resultatene som presenteres her.

Over hver oppgave har vi angitt den kognitive kategoriseringen av oppgaven og en kort beskrivelse av hva oppgaven går ut på. Vi har valgt å beholde dette på engelsk her; det er for at man lettere skal kunne finne fram til internasjonale publikasjoner hvor omtale av oppgaver inngår. Ellers benytter vi norske betegnelser. De kognitive nivåene har vi oversatt på følgende måte: For den engelske betegnelsen «Knowing» bruker vi *kunne* på norsk, for «Applying» bruker vi *anvende*, og for «Reasoning» bruker vi *resonnere*. For mer om dette, se kapittel 13. Systemet som er brukt for å kode de oppgavene som ikke er flervalgsoppgaver, er også beskrevet i kapittel 13.

I resultattabellen som følger etter hver oppgave, angis det internasjonale nummeret som oppgaven har i TIMSS Advanced. Korrekt svar er markert med gul farge (og for flervalgsoppgaver også med stjerne). For oppgaver som

har vært brukt også i tidligere gjennomføringer av studien (*trendoppgaver* fra 1995 og fra 2008), har vi oppgitt resultater for Norge også i de tidligere gjennomføringene.

TIMSS Advanced er en studie av elever i det siste året i videregående skole som har valgt full fordypning i fysikk og/eller matematikk. Denne boka konsentrerer seg om å presentere resultater i fysikk; se tidligere bok om resultater i matematikk (Grønmo & Hole, 2017). Hvor stor andel av et årskull i et land som har valgt fysikk, varierer ganske mye. I sammenlikninger mellom land er det viktig å ta hensyn til dette, da det sier mye om hvor stor del av elevene i et land som når opp til et visst nivå, generelt og på enkeltoppgaver. Prosentandelen av årskullet som tar fysikk til topps, det som kalles landets *dekningsgrad* i fysikk, og gjennomsnittsalderen til elevene i de landene vi sammenlikner med, er angitt i tabell 10.1.

Tabell 10.1 Dekningsgrad og alder i sammenlikningslandene i TIMSS Advanced 2015

Land	Dekningsgrad i %	Alder
USA	4,8	18,1
Russland	4,9	17,7
Norge	6,5	18,8
Slovenia	7,6	18,8
Sverige	14,3	18,8
Italia	18,2	18,9
Frankrike	21,5	18,0

Den høyeste andelen elever som velger fysikk, har Frankrike med 21,5 % og Italia med 18,2 %. Lavest andel finner vi i USA med 4,8 %, Russland med 4,9 % og Norge med 6,5 %. Det er også noe variasjon når det gjelder elevenes alder. Italia, Norge, Sverige og Slovenia har de eldste elevene. Yngst er elevene i Russland; de er vel ett år yngre enn elevene i de fire landene med eldst elever.

Til slutt i kapitlet har vi en kort oppsummering av noen viktige fellestrekk etter gjennomgangen av oppgavene i bølger og atom-/kjernefysikk med tittelen «Avsluttende kommentarer». Disse kommentarene danner utgangspunkt for videre drøftinger og refleksjoner i kapittel 12, som tar for seg sentrale funn som er presentert gjennom boka.

De formlene som elevene fikk oppgitt i oppgaveheftene, er gjengitt i et eget appendiks bak i boka.

10.1 Trendoppgaver

Med *trendoppgaver* menes oppgaver som har blitt brukt også i tidligere gjennomføringer av TIMSS Advanced. Disse brukes til å forankre prestasjonsskalaen til de tidligere gjennomføringene. Det er bare ved å ha en del identiske oppgaver i de ulike studiene at det er mulig å sammenlikne prestasjoner på tvers av tid, altså måle trender (se kapittel 13). Først tar vi for oss trendoppgaver som ble brukt i både 1995, 2008 og 2015. Deretter ser vi på oppgaver som ble brukt i 2008 og 2015.

Bølger og atom-/kjernefysikkoppgave 1

Knowing. Fraunhofer lines

(Fraunhofer-linjer)

I det kontinuerlege solspekteret finn vi mange mørke liner, dei såkalla Fraunhoferske linene.

Kva for ein påstand er korrekt?

- (A) Dei mørke linene kjem frå Fraunhoferbøying i teleskopet.
 - (B) Dei mørke linene kjem frå absorpsjon av lys i gassane i atmosfæren til sola.
 - (C) Solspekteret manglar spektralliner til alle stoffa som finst i sola.
 - (D) Dei mørke linene kjem av forbrenning av stoff i sola.
 - (E) Solspekteret vert endra av kosmisk stråling i rommet mellom sola og jorda.
-

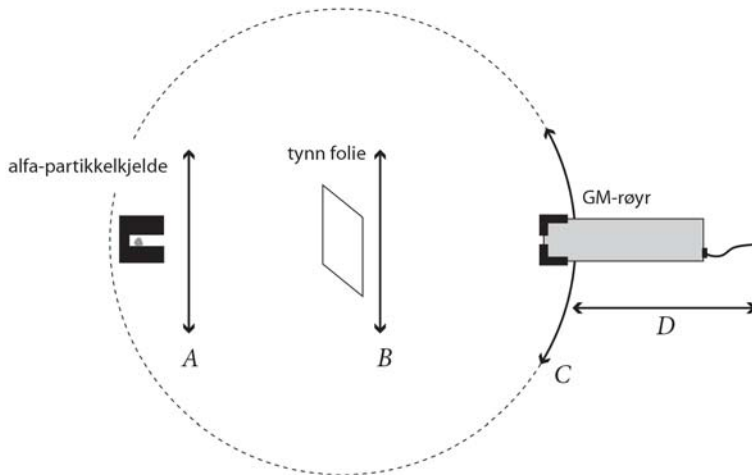
PA13011		A	B*	C	D	E	Ikke svart
Norge	1995	1	83	6	4	6	1
	2008	4	74	11	3	7	1
	2015	1	87	7	1	2	1
Sverige		14	45	15	8	15	3
USA		19	41	15	10	13	3
Russland		29	44	12	6	8	2
Slovenia		14	60	10	9	6	2
Frankrike		9	76	3	3	6	3
Italia		17	42	11	7	10	13
Int. gj.snitt		14	56	12	6	8	5

Dette er en flervalgsoppgave som kognitivt er klassifisert som *kunne*. Både i naturfag (Vg1) og i Fysikk 1 (Vg2) har de norske elevene læreplanmål koblet opp mot oppgavens tema, som er absorpsjonslinjer i lys fra sola og andre stjerner. I læreplanen for naturfag i Vg1 finner vi kompetansemålet: «forklare hvordan elektromagnetisk stråling fra verdensrommet kan tolkes og gi informasjon om verdensrommet» og i Fysikk 1 finner vi: «beskrive Bohrs atommodell og beregne frekvenser og bølgelengder til spektrallinjer i emisjons- og absorpsjonsspektre ut fra den.»

At denne oppgaven er klassifisert under kognitivt område *kunne*, er svært naturlig. Den framstår nærmest bare som en sjekk på om elevene har hatt det aktuelle temaet i sin undervisning. Gitt at elevene har vært borti dette, burde det være en enkel sak å eliminere distraktorene A, C, D og E. Siden dette temaet dekkes meget godt i Fysikk 1 og delvis i naturfag (Vg1), burde man kunne forvente høy skår på denne blant norske elever, noe man også har fått, for Norge er klart best av alle deltakerlandene. Norge har en klar nedgang fra 1995 til 2008 og en litt større framgang fra 2008 til 2015. Den siste framgangen kan henge sammen med stor vekt på astrofysikk i fysikkpensumet til elevene i 2015-studien. I USA, Italia, Russland og Sverige er prosentandelen for riktig svar omtrent halvparten av prosenten i Norge, noe som signaliserer at det er stor forskjell på hvor stor vekt man legger på dette temaområdet i ulike land (Mullis, Martin, Foy & Hooper, 2016b).

Bølger og atom-/kjernefysikkoppgave 2
Applying. Rutherford experiment
(Rutherford-eksperimentet)

Figuren viser eit eksperimentoppsett for å studere Rutherfordspreiing. Pilene A, B, C, D indikerer dei ulike delane av oppsettet som vi kan flytte på.



Kva for ein del av oppsettet må vi flytte på for å få eit passende sett av data?

- Ⓐ Flytte alfa-partikkelkjelda i forhold til dei andre delane, som vist
- Ⓑ Flytte den tynne folien i forhold til dei andre delane, som vist
- Ⓒ Rotere GM-røyrret rundt den tynne folien, som vist
- Ⓓ Endre avstanden mellom den tynne folien og GM-røyrret, som vist

PA13013		A	B	C*	D	Ikke svart
Norge	1995	7	7	49	36	2
	2008	7	9	37	45	2
	2015	6	12	40	39	3
Sverige		10	15	32	40	3
USA		8	11	40	39	2
Russland		8	15	49	26	1
Slovenia		10	22	31	35	2
Frankrike		5	13	30	47	4
Italia		10	13	35	27	16
Int. gj.snitt		9	15	34	36	6

Denne oppgaven er i den kognitive kategorien *anvende*. Oppgaven dreier seg om det klassiske eksperimentet med Rutherford-spredning, der man observerer at noen av de utsendte alfapartiklene blir bøyd kraftig av, mens andre blir bøyd lite. For å kunne observere denne effekten, må vinkelen mellom alfa-partikkelkilden og detektoren (GM-røret) varieres, og dermed er C det riktige svaralternativet.

Denne typen eksperimenter ledet historisk fram til utviklingen av Bohr-Rutherford-modellen for atomet, med ideen om en liten, positivt ladd atomkjerne med en sky av negativt ladde elektroner rundt seg. Mens Rutherford-spredning ikke er direkte nevnt i den norske læreplanen, er Bohrs atommodell med. Videre har lærebøkene avsnitt med historiske tilbakeblikk, og der kan dette passe naturlig inn. Har elevene ikke sett det klassiske eksperimentet, men kun har den generelle forståelsen fra Bohrs atommodell, kan oppgaven være vanskelig å besvare. Distraktor D framstår som den mest plausible for elevene i alle land. I en del land er det flere som velger D enn det riktige svaret C. I 2008 oppnådde distraktor D 45 % i Norge, mot 37 % riktig.

Gitt at man ikke kjenner det klassiske eksperimentet, kan det også framstå som uklart hva som i oppgaveteksten menes med «eit passende sett av data». Norge har hatt noe tilbakegang på oppgaven siden 1995, men ligger fortsatt over det internasjonale snittet.

Bølger og atom-/kjernefysikkoppgave 3**Reasoning. Photoelectric effect****(Fotoelektrisk effekt)**

Ved fotoelektrisk effekt er den kinetiske energien til eit emittert elektron mindre enn energien til fotonet fordi

- (A) fotonenergien ikkje vert absorbert fullstendig.
- (B) frekvensen til fotonet ikkje var større enn grensefrekvensen.
- (C) elektronet er svært sterkt bunde til atomet.
- (D) elektronet mistar litt energi når det frigjer seg frå overflata.

PA13017		A	B	C	D*	Ikke svart
Norge	1995	11	9	10	70	0
	2008	13	12	12	61	3
	2015	13	15	14	56	3
Sverige		10	9	12	64	5
USA		15	10	15	59	2
Russland		12	12	8	67	2
Slovenia		18	5	8	68	1
Frankrike		25	9	14	47	5
Italia		12	9	17	49	13
Int. gj.snitt		16	10	14	56	4

Denne oppgaven er i den kognitive kategorien *resonnere*. Det er en kvalitativ oppgave der elevene må resonnerer ut fra prinsipper om energibevaring. Vi ser at Norge har hatt en markant tilbakegang på oppgaven, fra 70 % riktig i 1995 til 56 % riktig i 2015. Distraktorene A, B og C har, både for de norske elevenes vedkommende og internasjonalt, omtrent lik svarprosent. Dette kan indikere at distraktorene i oppgaven har fungert etter hensikten; de har jevnt over framstått som omtrent like plausible for elevene.

En ting som kan slå negativt ut for de norske elevene på denne oppgaven, er rekkefølgen for pensumgjennomgangen i Fysikk 2. TIMSS Advanced 2015 ble gjennomført i begynnelsen av mars for mange skoler i Norge, og det er ikke sikkert at fotoelektrisk effekt, som i flere av de brukte lærebøkene er plassert mot slutten, da var dekket.

Bølger og atom-/kjernefysikkoppgave 4
Applying. Nuclear change in an atom
(Kjerneforandring i et atom)

Eit atom med atomnummer Z og massetal A går over til eit atom med atomnummer $Z + 1$ og massetal A .

Kva for ei av desse endringane kan ha gått føre seg i kjernen ?

- (A) Emisjon av ein alfapartikkel
 - (B) Emisjon av ein betapartikkel
 - (C) Emisjon av gammastråling
 - (D) Absorpsjon av eit deutron og så emisjon av eit nøytron
 - (E) Absorpsjon av eit nøytron og så emisjon av eit gammafoton
-

PA13019		A	B*	C	D	E	Ikke svart
Norge	1995	14	19	14	27	23	3
	2008	19	15	10	28	24	3
	2015	15	24	9	27	21	5
Sverige		23	22	12	18	20	4
USA		20	26	9	20	23	3
Russland		7	73	4	6	8	2
Slovenia		18	41	7	16	16	1
Frankrike		18	19	12	15	31	6
Italia		10	13	14	19	24	21
Int. gj.snitt		14	32	10	17	20	7

Denne oppgaven er i den kognitive kategorien *anvende*. Man kan her resonere slik: Siden massetallet til atomet er uforandret, og atomnummeret samtidig har økt med 1, må antall protoner i kjernen ha økt med 1 og antall nøytroner blitt redusert med 1. Den eneste prosessen som er kompatibel med dette er B, altså betastråling, siden denne innebærer at et elektron emitteres fra atomet samtidig som et nøytron omdannes til et proton.

Det er interessant å se de store forskjellene mellom landene her. Kjernefysikk ser ut til å bli sterkt vektlagt i Russland og til dels i Slovenia. Norge har hatt en viss framgang på oppgaven siden 1995, men ligger fortsatt et stykke under det internasjonale gjennomsnittet. Oppgavens tema lå klart innenfor norsk pensum i både 1995, 2008 og 2015 (Mullis et al., 2016b).

Bølger og atom-/kjernefysikkoppgave 5
Knowing. Protons and neutrons in isotopes
(Protoner og nøytroner i isotoper)

Dei første åtte grunnstoffa i det periodiske systemet, som er rangerte etter atomnummer, er H, He, Li, Be, B, C, N og O.

Fyll ut tabellen nedanfor med «Kor mange proton» og «Kor mange nøytron» i desse isotopane.

Isotop	Kor mange proton	Kor mange nøytron
${}^4\text{He}$		
${}^{14}\text{C}$		
${}^{14}\text{N}$		

PA23088		10 Rett svar	70 Feil svar	71 Feil svar	79 Feil svar	Ikke svart
Norge	2008	51	7	2	34	5
	2015	63	5	1	27	4
Sverige		48	4	2	38	8
USA		35	9	3	44	9
Russland		71	2	3	16	8
Slovenia		55	3	1	31	10
Frankrike		22	6	2	57	14
Italia		20	7	1	32	41
Int. gj.snitt		46	5	2	34	13

Kognitivt er denne oppgaven klassifisert som *kunne*. Korrekt svar på oppgaven er at ${}^4\text{He}$ (helium) har 2 protoner og 2 nøytroner, ${}^{14}\text{C}$ (karbon) har 6 protoner og 8 nøytroner, og ${}^{14}\text{N}$ (nitrogen) har 7 protoner og 7 nøytroner. Kode 70 ble gitt til elever som hadde 5 av de 6 tallene riktige. Kode 71 ble gitt hvis alle protoner var angitt riktig, mens det var feil med nøytronene.

I norsk naturfagpensum på Vg1 er de 20 første grunnstoffene dekket, og der innarbeides hovedregelen om at for de vanlige isotopene med lettere

atomkjerner er antall protoner lik antall nøytroner. Dette kan holde til å finne korrekt fordeling for nitrogenisotopen. Når det gjelder karbonisotopen, er det kjent for norske elever at 1 u (atomær masseenheter) er definert som 1/12 av massen til ^{12}C , og at karbon dermed har 6 protoner. Videre er isotopen ^{14}C kjent blant annet gjennom « ^{14}C -metoden» for datering av dødt organisk materiale, så det skulle da være greit å komme fram til at ^{14}C må ha 8 nøytroner. De norske elevene har også arbeidet med alfastråling, som består av heliumkjerner ^4He , og at helium er grunnstoff nummer 2, er innarbeidet i naturfag. Dermed skulle også dette tilfellet være greit.

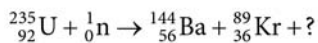
Norge ligger klart over det internasjonale snittet, bare Russland skårer høyere. Norge har også en framgang fra 2008, noe som rimer med at denne typen stoff sannsynligvis ble vektlagt mer i 2015 enn i 2008.

Bølger og atom-/kjernefysikkoppgave 6

Applying. Complete equation for reaction

(Kompletter reaksjonslikningen)

I ein fisjonsreaktor i eit kjernekraftverk kan denne reaksjonen skje:



Fullfør likninga for reaksjonen ovanfor.

PA23066		10	11	70	79	Ikke svart
		Rett svar	Rett svar	Feil svar	Feil svar	
Norge	2008	22	22	15	26	15
	2015	35	17	13	28	7
Sverige		17	17	15	32	19
USA		7	2	3	63	25
Russland		50	2	7	30	12
Slovenia		22	11	11	33	23
Frankrike		16	1	11	60	13
Italia		3	1	3	20	74
Int. gj.snitt		23	6	8	40	24

Denne oppgaven er kognitivt klassifisert som *anvende*. Oppgaven kan løses ved anvendelse av prinsippene for bevaring av ladning og totalt antall kjernepartikler. På venstre side av reaksjonslikningen er det til sammen 92 protoner og 236 kjernepartikler, altså er det 144 nøytroner. På høyre side er det foreløpig 92 protoner og 233 kjernepartikler, altså 141 nøytroner. Det mangler altså 3 nøytroner og 0 protoner på høyre side, noe som i standard notasjon skrives $3\frac{1}{0}n$. Elever som angav svaret slik, fikk kode 10. Kodemanualen godtok også andre skrivemåter for 3 nøytroner, som for eksempel $3n$ og «tre nøytroner». Elever som brukte disse, fikk kode 11. Kode 70 betyr at elevens svar var 2 nøytroner.

Vi ser at det i Norge er klar framgang på denne oppgaven fra 2008 til 2015, noe som indikerer økt vekt på kjernefysikk i utviklingen av fysikkfaget mellom disse årene. I Fysikk 1 er det vanlig å diskutere kjernekraftverk, og reaksjoner av typen man finner i denne oppgaven, kan brukes som eksempel på kjedereaksjoner. Norge og Russland utmerker seg som landene som gjør det best på denne oppgaven.

10.2 Oppgaver som ikke har inngått i tidligere studier

Vi går nå over til å se på oppgaver som ikke er trendoppgaver, altså oppgaver som verken ble brukt i 1995 eller i 2008. Disse oppgavene ble utviklet til TIMSS Advanced-studien i 2015.

Bølger og atom-/kjernefysikkoppgave 7

Knowing. Nuclear power plant fuel

(Energikilde i kjernekraftverk)

I kull- og gasskraftverk er kilden til energi som brukes til å lage elektrisitet, en kjemisk reaksjon. Slik er det ikke i kjernekraftverk.

Hvilken energikilde brukes til å lage elektrisitet i et kjernekraftverk?

- Ⓐ omgjøring av masse til energi under kjernereaksjonen
- Ⓑ frigjøring av energi når de aktive stoffene i reaktorkjernen utvider seg
- Ⓒ oksidering av radioaktivt materiale i kjernekraftverkets reaktorkjerne
- Ⓓ absorpsjon av elektromagnetisk stråling fra de aktive stoffene i reaksjonen

PA33115	A*	B	C	D	Ikke svart
Norge	60	19	10	9	2
Sverige	37	44	8	10	2
USA	29	44	13	13	1
Russland	54	37	6	2	1
Slovenia	43	50	4	2	1
Frankrike	14	64	11	11	1
Italia	42	28	10	13	7
Int. gj.snitt	38	41	9	10	3

Kognitivt er denne oppgaven klassifisert som *kunne*. Innholdsmessig burde den representere kjent stoff for norske fysikkelever. Kilden til energi i kjernekraftverk er omdanning av masse til energi etter formelen $E = mc^2$. Imidlertid krever oppgaven også leseferdigheter, noe som delvis kan forklare at såpass mange elever velger feil alternativ. Blant distraktorene er B mest valgt, både i Norge og internasjonalt. I noen land har B større svarprosent enn det riktige alternativet A. Dette kan henge sammen med at alternativ B omhandler «de aktive stoffene i reaktorkjernen», som helt korrekt spiller den sentrale rollen i kjernereaksjonen. Problemet med B er at uttrykket «utvider seg» er galt; dersom det hadde blitt byttet med «spaltes», ville B vært en korrekt beskrivelse av dagens kjernekraftverk. Vi ser her at oppgaven krever forståelse for hva en kjerneprosess rent fysisk er. Noe av det samme er tilfellet med distraktor C, der det kun er ordet «oksidering» som egentlig er galt.

Norge har den høyeste prosentandelen riktige svar på oppgaven, langt over internasjonalt snitt, etterfulgt av Russland.

Bølger og atom-/kjernefysikkoppgave 8
Applying. Sound wavelength in air
(Bølgelengde for lyd i luft)

Et dyr som lever i sjøen lager en lyd med en frekvens på $1,00 \cdot 10^2$ Hz under vannet. Lyden blir fanget opp over vannoverflaten.

Lydhastigheten i luft ved $20\text{ }^\circ\text{C}$ og 1 atm er 343 m/s. Hva er bølgelengden til lyden etter at den har kommet ut i luften når temperaturen er $20\text{ }^\circ\text{C}$?

Svar: _____ m

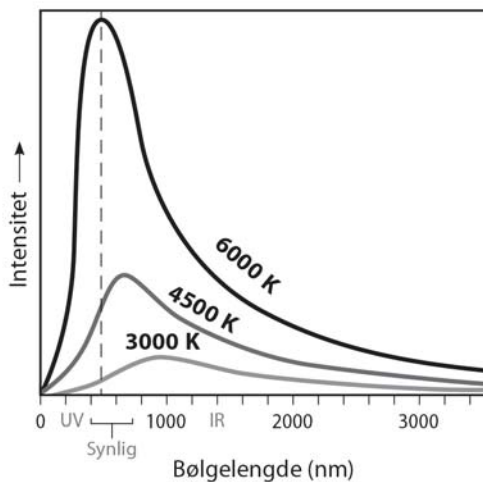
PA33005	10 Rett svar	79 Feil svar	Ikke svart
Norge	59	24	17
Sverige	53	28	19
USA	53	35	12
Russland	64	17	19
Slovenia	72	20	8
Frankrike	47	30	23
Italia	43	20	37
Int. gj.snitt	58	23	19

Denne oppgaven er kognitivt klassifisert som *anvende*. Den er omtalt i Grønmo, Hole & Onstad (2016). Som nevnt der må elevene for å løse denne oppgaven bruke at lydbølgens *frekvens* ikke endres når lydbølgene overføres fra vannet til luften. Formelen $v = \lambda f$ for sammenhengen mellom bølgefarten v , frekvensen f og bølgelengden λ er oppgitt i formellista elevene har i oppgaveheftet, og den er også kjent fra det norske fysikkpensumet. Her er nå både frekvens $f = 100$ Hz og bølgefart $v = 343$ m/s kjent, og elevene kan dermed finne bølgelengden som $\lambda = v/f = 3,43$ meter.

Norge presterer på nivå med det internasjonale snittet på denne oppgaven. Det er interessant at så mye som 40 % av de norske elevene ikke får den til. Man kan på grunnlag av praktisk fysikkforståelse konkludere med at frekvensen til en bølge ikke endres ved overgangen mellom to medier. Derfra til å løse oppgaven korrekt er det relativt kort vei. Se også oppgave 12. Merk at internasjonalt er det ganske mange elever som ikke besvarer oppgaven. Noe liknende ser man i oppgave 6.

Bølger og atom-/kjernefysikkoppgave 9A
Reasoning. Temperature and frequency intensity
(Temperatur og frekvensintensitet)

Alle ting sender ut et spekter av elektromagnetisk stråling. Når en gjenstand forandrer temperatur, vil de relative intensitetene til de utsendte frekvensene forandres. Kurvene i figuren nedenfor viser fordelingen til den utsendte elektromagnetiske strålingen fra en gjenstand ved tre ulike temperaturer.



- A. Hva skjer når gjenstandens temperatur øker?
- (A) Den totale intensiteten til infrarød stråling utsendt av gjenstanden minker.
 - (B) Bølgelengden til strålingen med maksimal intensitet øker.
 - (C) Frekvensen til strålingen med maksimal intensitet øker.
 - (D) Energien til strålingen med maksimal intensitet minker.
-

PA33101A	A	B	C*	D	Ikke svart
Norge	6	16	67	10	1
Sverige	10	25	54	10	1
USA	6	29	57	8	1
Russland	8	28	54	8	2
Slovenia	10	26	54	10	1
Frankrike	14	27	47	10	2
Italia	10	27	47	7	9
Int. gj.snitt	9	25	54	9	3

Denne oppgaven er kognitivt klassifisert som *resonnere*. Den inneholder noe som nærmest er en ren matematikkoppgave, der elevene må tolke de oppgitte grafene for strålingsintensiteten som funksjon av bølgelengde ved tre ulike gitte temperaturer. Alternativene A og B kan elimineres ved direkte avlesing av grafene.

Samtidig er dette en berømt problemstilling i fysikk. Disse grafene representerer de eksperimentelle resultatene som bidro til at fysikerne omkring år 1900 erkjente at klassisk elektrodynamikk var utilstrekkelig, og som derved ledet til utviklingen av kvantemekanikken. Det er sannsynlig at de norske elevene har sett slike grafer i fysikkundervisningen, og de gjør det best av alle deltakerlandene på denne oppgaven. Hvis vi ser bort fra Norge, varierer prestasjonene relativt lite mellom landene sammenliknet med andre oppgaver.

Fra grafene ser man at bølgelengden λ for grafenes maksimumspunkt avtar med økende temperatur. Siden alle bølger beveger seg med den samme hastigheten v (lyshastigheten i vedkommende medium), følger det av likningen $v = \lambda f$, som er oppgitt i elevheftenes formellista, at frekvensen til strålingen med maksimal intensitet øker med økende temperatur. Altså er alternativ C korrekt.

Bølger og atom-/kjernefysikkoppgave 9B
Reasoning. Wavelength of max intensity radiation
(Bølgelengde ved maksimal strålingsintensitet)

- B. Wiens lov sier at produktet av en gjenstands temperatur og bølgelengden til strålingen ved maksimal intensitet utsendt ved denne temperaturen, er konstant ($\lambda_{\max} T = b$).

Vegard ønsker å vite om Wiens lov gjelder for denne gjenstanden. Han bruker grafen på forrige side og beregner λ_{\max} med de tre temperaturene som er gitt.

Vegard ganger deretter de beregnede bølgelengdene med sine tilhørende temperaturer, og viser resultatene sine i tabellen under.

T (K)	λ_{\max} (nm)	λ_{\max} (m)	$\lambda_{\max} T = b$ (m·K)
3000	950	$9,5 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$
4500	660	$6,6 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$
6000	500	$5,0 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$

Vegard konkluderer med at Wiens lov gjelder for denne gjenstanden. Er du enig i hans konklusjon?

(Kryss av i én rute.)

- Ja
 Nei

Forklar svaret ditt.

PA33101B	10 Rett svar	79 Feil svar	Ikke svart
Norge	6	90	4
Sverige	16	77	7
USA	11	86	3
Russland	14	76	10
Slovenia	26	73	1
Frankrike	9	88	3
Italia	3	76	21
Int. gj.snitt	14	79	8

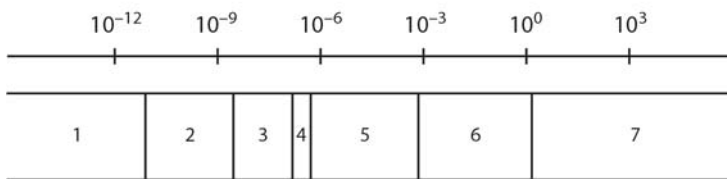
Denne oppgaven er kognitivt kategorisert som *resonnere*. Her er oppgaven rett og slett å sjekke om temperaturen T multiplisert med bølglengden λ for strålingen med maksimal intensitet er (tilnærmet) konstant for de tre temperaturene vist i figuren, der mindre avvik kan tilskrives målefeil. Konstanten man skal få, som tilsvarer høyre kolonne i tabellen i oppgaven, er oppgitt i formelsamlingen i oppgaveheftene under betegnelsen «konstant i Wiens forskyvningslov». Den norske læreplanen inneholder kompetansemålet «gjøre beregninger med Stefan-Boltzmanns lov og Wiens forskyvningslov», så de norske elevene skal ha vært innom dette. Korrekt svar er JA, siden den relative variasjonen i konstanten for de tre temperaturene er så liten at den kan tilskrives målefeil eller usikkerheten i grafene. Imidlertid vil det alltid ligge et element av skjønn i bedømmingen av dette, noe som representerer et usikkerhetsmoment når resultatene fra oppgaven skal tolkes.

Ved hjelp av formelsamlingen foran i oppgaveheftet er det mulig for elevene å finne ut av dette *uten* på forhånd å ha hørt om Wiens forskyvningslov. Likevel har svært få av de norske elevene fått til oppgaven. Det norske resultatet på denne oppgaven kan derfor også tolkes som at elevene gir opp litt for lett når de ser begreper eller problemstillinger som de (mistenker at de) ikke kjenner. Resultatene på oppgaven er gjennomgående dårlige internasjonalt, og kontrasten med deloppgave A er stor. Slovenia har klart høyest prosent korrekte svar på deloppgave B.

Bølger og atom-/kjernefysikkoppgave 10A
Knowing. Electromagnetic radiation
(Elektromagnetisk stråling)

Figuren viser bølgelengdene til delene av det elektromagnetiske spekteret. Hvert område representerer én type elektromagnetisk stråling. Område 4 representerer synlig lys.

Bølgelengde λ (m)



A. Hvilken type stråling representerer område 2?

- (A) radiostråling
- (B) gammastråling
- (C) ultrafiolett stråling
- (D) røntgenstråling

PA33079A	A	B	C	D*	Ikke svart
Norge	9	15	24	49	3
Sverige	14	16	26	39	5
USA	22	18	25	34	0
Russland	20	9	13	56	2
Slovenia	13	15	24	46	2
Frankrike	14	25	19	40	2
Italia	19	19	21	32	10
Int. gj.snitt	17	17	22	41	3

Denne oppgaven er kognitivt klassifisert som *kunne*. Den tester kjennskap til hvor ulike typer stråling er plassert i det elektromagnetiske strålingsspekteret. Det er oppgitt at region 4 er synlig lys, og dersom man så vet at gammastråling, ultrafiolett stråling og røntgenstråling alle har kortere bølgelengde enn synlig lys, mens radiobølger har lengre, er alternativ A eliminert. Det som gjenstår, er da å fordele gammastråling, ultrafiolett stråling og røntgenstråling korrekt på områdene 1, 2 og 3. Her kan elevene for eksempel bruke prinsippet om at stråling blir mer gjennomtrengende jo kortere bølgelengden er. Vet de da at gammastråling er mer gjennomtrengende enn røntgenstråling, som i sin tur opplagt er mer gjennomtrengende enn ultrafiolett stråling, får de at område 1 er gammastråling, område 2 er røntgenstråling, og område 3 er ultrafiolett stråling. Altså er D det korrekte svaret.

Norge gjør det bra i forhold til de andre deltakerlandene, men likevel er det altså kun halvparten av de norske elevene som svarer korrekt. Dette temaet er i Norge mest aktuelt i Fysikk 1, men røntgen innen medisin er dekket i Fysikk 2.

Bølger og atom-/kjernefysikkoppgave 10B

Reasoning. Harmful radiation

(Skadelig stråling)

- B. Hvilket område med stråling er farligst for mennesker? Anta at eksponering for hver type stråling er av lik intensitet og varighet.

(Kryss av i én rute.)

- stråling fra område 1
 stråling fra område 7

Forklar svaret ditt ved å bruke begrepene frekvens og fotonenergi.

PA33079B	10 Rett svar	70 Feil svar	79 Feil svar	Ikke svart
Norge	53	12	33	2
Sverige	30	6	61	4
USA	35	13	50	1
Russland	33	6	58	4
Slovenia	35	12	52	1
Frankrike	13	8	76	4
Italia	15	3	69	13
Int. gj.snitt	32	8	55	5

Kognitivt er denne oppgaven klassifisert som *resonnere*. Poenget her er at stråling blir mer skadelig jo kortere bølgelengde den har. Grunnen er at energien E_f til et foton med frekvens f er

$$E_f = hf$$

der h er Plancks konstant. Denne formelen er oppgitt i formellista i elevheftet. I oppgaven er det presisert at begrepene frekvens og fotonenergi skal brukes i elevenes forklaring. Med «lik intensitet» menes i oppgaven samme antall fotoner. For å løse oppgaven korrekt trenger elevene å vite at fotoner med høyere energi er mer skadelige for mennesker enn de med lavere. Elevene kan for eksempel forklare at siden $E_f = hf$, er fotonenergien proporsjonal med frekvensen, og større fotonenergi gir høyere sannsynlighet for at strålingen kan skade levende vev i menneskekroppen. Siden høy frekvens svarer til kort bølgelengde, representerer område 1 høyere fotonenergi enn område 7, altså er område 1 korrekt svar. Kode 70 blir gitt til elever som krysser av for område 1 og gir en (delvis) fysisk korrekt begrunnelse, men som ikke har brukt begrepene frekvens og fotonenergi. De kan for eksempel ha skrevet at i region 1 er bølgelengden kortere, noe som gjør strålingen farligere.

Også dette er en oppgave der Norge gjør det klart best av alle deltakerlandene. Italia og Frankrike har lavest prosentandel riktige svar på oppgaven.

Bølger og atom-/kjernefysikkoppgave 11**Knowing. Nuclear reaction mass****(Masse i kjernereaksjoner)**

Kjernen til et atom fanger inn et nøytron og produserer en gammastråle. Den totale massen til atomet og nøytronet før reaksjonen er større enn den totale massen til atomet og nøytronet etter reaksjonen.

Hvilken av disse forklarer best forskjellen i masse?

- (A) Den utsendte gammastrålen har lik energi som masseforskjellen.
- (B) Elektroner ble sendt ut fra det ytterste skallet i atomet.
- (C) Nøytronet var årsaken til at atomet ble forandret til en isotop med lavere masse.
- (D) Nøytronet ble omdannet til en gammastråle.

PA33116	A*	B	C	D	Ikke svart
Norge	60	10	19	8	3
Sverige	50	17	22	7	4
USA	43	23	26	7	1
Russland	51	14	26	6	3
Slovenia	59	12	18	9	2
Frankrike	33	18	34	11	4
Italia	29	18	32	7	14
Int. gj.snitt	44	17	26	8	6

Kognitivt er denne oppgaven klassifisert som *kunne*. Oppgaven tester forståelse for bevaring av masse-energi, der masse og energi forbindes ved formelen

$$E = mc^2$$

der E er energien, m er massen og c er lyshastigheten. Bindingen av nøytronet til kjernen tilsvarer negativ potensiell energi. Masseforskjellen tilsvarende denne energien kompenseres av energien til gammastrålen. Det eneste av alternativene som forholder seg til dette, er A. Alternativ B kan elimineres rett og slett fordi et elektron ikke blir sendt ut. Både C og D beskriver umulige fysiske prosesser. Merk at oppgavens bruk av ordet «gammastråle» muligens er noe uheldig, siden dette dreier seg om kun et foton. Antakelig har dette ikke hatt vesentlig innflytelse på resultatene.

Oppgaven krever en viss grad av leseferdighet, blant annet siden alle de fire alternativene omhandler tekniske begreper som har å gjøre med oppgavens problemstilling. Det kreves også evne til å oversette ekvivalens av masse og energi til den konkrete fysiske situasjonen som oppgaven beskriver.

Norges resultat på oppgaven er best av alle deltakerlandene.

Bølger og atom-/kjernefysikkoppgave 12

Knowing. Wavelength of water wave

(Bølgelengde til vannbølge)

Når bølger på havet nærmer seg kysten, sakker de farten. Frekvensen til bølgene som nærmer seg kysten forandrer seg ikke. Hva skjer med bølgelengden til disse bølgene?

PA33070	10 Rett svar	79 Feil svar	Ikke svart
Norge	72	20	9
Sverige	63	27	10
USA	56	40	5
Russland	60	22	18
Slovenia	76	21	4
Frankrike	56	32	12
Italia	40	23	38
Int. gj.snitt	59	25	15

Denne oppgaven er kognitivt klassifisert som *kunne*. Oppgaven kan løses ved å tenke kvalitativt basert på likningen

$$v = \lambda f$$

som er oppgitt i formellista. Her er v hastighet, λ er bølgelengde, og f er frekvens. Siden bølgenes fart reduseres, og frekvensen er uforandret, må bølgelengden reduseres. Kodemanualen angav at denne konklusjonen («bølgelengden avtar» eller ekvivalent) var tilstrekkelig for kode 10, altså korrekt svar.

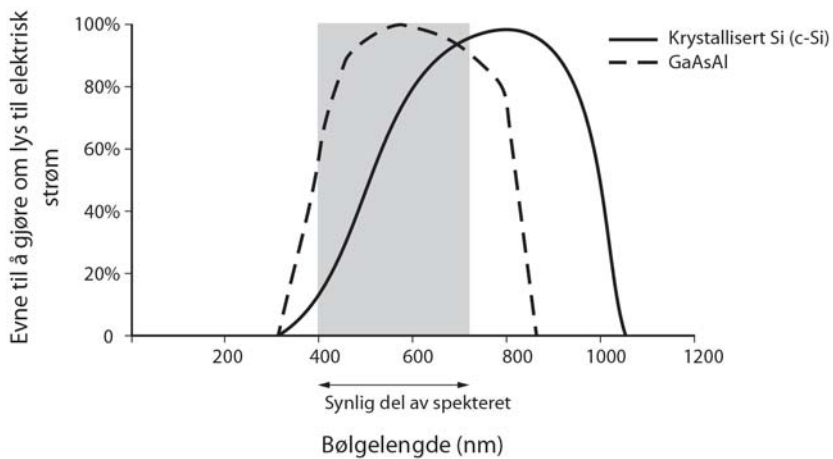
Naturligvis er fenomenet beskrevet i denne oppgaven noe elevene også kan ha observert fysisk på badestrender og liknende, og det er ikke nødvendig å tenke bølgelikning for å finne svaret.

Legg også merke til at opplysningen gitt i oppgaveteksten om at frekvensen ikke endres, kan betraktes som unødvendig. Den gjør oppgaven enklere, men den følger av et rent fysisk resonnement tilsvarende det elevene måtte gjøre på egen hånd i oppgave 8 (bølgene kan ikke hope seg opp, det kan ikke komme inn færre bølger per tidsenhet enn det gjør lenger ute).

Slovenia presterer best på denne oppgaven, etterfulgt av Norge. Resultatene er jevnt over gode med et internasjonalt snitt på 59.

Bølger og atom-/kjernefysikkoppgave 13
Applying. Semiconductor in solar panels
(Halvledere i solcellepanel)

Figuren under viser to halvlederes evne til å gjøre om lys til elektrisk strøm, som en funksjon av bølglengden til lyset. Det meste av solenergien som treffer jordas overflate ligger i den synlige delen av spekteret, som er den skyggelagte delen på figuren.



Hvilket materiale, c-Si eller GaAsAl, er det beste materialet å bruke i en halvleder i et solcellepanel?

(Kryss av i én rute.)

- c-Si
- GaAsAl

Forklar svaret ditt.

PA33011	10 Rett svar	79 Feil svar	Ikke svart
Norge	50	48	2
Sverige	42	52	7
USA	51	46	3
Russland	39	55	6
Slovenia	57	43	1
Frankrike	45	51	4
Italia	28	55	17
Int. gj.snitt	44	49	7

Kognitivt er denne oppgaven klassifisert som *anvende*. Dette er en oppgave der man kommer langt med generell matematisk kompetanse knyttet til tolking av grafer. Den synlige delen av det elektromagnetiske spekteret er oppgitt på figurens første akse, og det følger dermed av kurvene at halvlederen GaAsAl har størst evne til elektrisk strømproduksjon i synlig lys. Når oppgaveteksten så i tillegg eksplisitt sier at det meste av solenergien som treffer jordas overflate ligger i den synlige delen av spekteret, følger det at avkrysning for GaAsAl er korrekt.

For å få kode 10 (korrekt), avkreves elevene her en forklaring av typen gitt over, men den kan være mer stikkordmessig og kortere formulert.

Som vi ser av tabellen, klarer halvparten av de norske elevene denne oppgaven. Selv om dette resultatet ligger i toppen internasjonalt, representerer det likevel et tankekors. Man kan spekulere om det er leseferdighetene som er problemet her, eller om det er at elever gir opp når de ser en problemstilling de ikke er vant til. Som nevnt trenger man egentlig minimalt med fysikkfaglig kompetanse for å komme fram til og kunne begrunne det riktige svaret, siden alt man trenger er oppgitt i oppgaveteksten.

10.3 Avsluttende kommentarer

I denne oppsummeringen reiser vi noen utvalgte problemstillinger som det er naturlig å ta opp ut fra resultatene på oppgavene drøftet i kapitlet. Dette er med andre ord ikke en full oppsummering av resultatene på alle oppgavene i kapitlet, men et valgt perspektiv med sikte på å reise viktige diskusjoner.

10.3.1 Vektlegging av moderne fysikk

I Norge legger man i dag relativt stor vekt på det vi kan kalle moderne fysikk, som inkluderer den typen oppgaver man har på delområdet atom- og kjernefysikk i TIMSS Advanced. At vi legger vekt på dette i skolen, vises klart av det norske resultatet på oppgave 1. Den typen kunnskap elevene trenger for å løse denne oppgaven, tas opp både i Naturfag på Vg1, og i Fysikk 1 og Fysikk 2. At norske elever presterer best av alle de deltakende landene på oppgaven, understreker derfor det poenget som ble tatt opp i de avsluttende kommentarene til kapittel 8 (8.3), om viktigheten av å vedlikeholde innlært kunnskap for å sikre god læring.

Det ser ut til å være til dels store variasjoner mellom land i hvor stor grad moderne fysikk vektlegges. Land som ser ut til å vektlegge dette i relativt stor grad, er Russland, Slovenia og til dels også Norge og Sverige. Vi ser noen tydelige forskjeller mellom land for eksempel i løsning av oppgavene 5, 6 og 7, hvor Norge og Russland ligger helt på topp i prestasjoner. Også Slovenia og Sverige presterer relativt godt på oppgavene 5 og 7, noe svakere på oppgave 6. På andre oppgaver, som 9A og 10A, ser vi relativt små forskjeller mellom land. Disse oppgavene framstår derfor som sentralt stoff i alle de deltakende landene.

I oppgave 9A trenger elevene noe kvantitativ kunnskap; den kan løses nærmest som en matematikkoppgave hvor man kommer langt bare ved en riktig avlesing av grafene. Også på oppgave 13 kommer man langt med en generell kompetanse knyttet til tolking av grafer. Kunnskap om grafer er en del av matematikken som mange studier har vist at norske elever behersker relativt godt sammenliknet med andre matematiske områder, og sammenliknet med andre land. Det gjelder på både barnetrinnet og ungdomstrinnet. Det er når det kommer inn krav om å gjøre matematiske beregninger eller anvende algebra at de norske elevene sliter. Avlesing og tolking av grafer ser det ut til at de behersker godt. På oppgave 9B, som krever noen matematiske beregninger, er de norske resultatene svake, nest svakest av alle de landene som deltok

i TIMSS Advanced i 2015. Oppgaver hvor norske elever presterer godt er oppgave 10B, oppgave 11 og oppgave 12. Ingen av disse oppgavene krever nøyaktige beregninger, men en mer kvalitativ forklaring. På disse oppgavene ligger de norske resultatene på topp internasjonalt. Problematikken rundt kvalitative aspekter versus kvantitative aspekter ved oppgavene i TIMSS Advanced tas også opp og drøftes i avsluttende kommentarer i kapittel 8.

10.3.2 Lærebøkens betydning og plassering av lærestoff i disse

Betydningen av når på året elevene undervises i et tema, ser også ut til å påvirke hvor godt norske elever presterer. Vi finner oppgaver hvor de norske elevenes prestasjoner er relativt gode internasjonalt, men hvor man likevel har en klar tilbakegang fra TIMSS Advanced 1995. Det gjelder for eksempel oppgave 3. Stoffet i denne oppgaven kan vi anta at tas på slutten av Fysikk 2, basert på plasseringen av stoffet i lærebøkene. Når man diskuterer læreplanen i fysikk, er det rimelig ikke bare å forholde seg til det skrevne læreplandokumentet, men også til de lærebøkene elevene har. Forskning har pekt på at det er rimelig å inkludere både skrevne læreplaner og lærebøker i det vi kan kalle den intenderte læreplanen, se kapittel 4 for mer om dette. Når det gjelder oppgaver som kommer sent i lærebøkene, er det i Norge også relevant å nevne problemet med at den siste tiden i videregående opplæring i norsk skole forstyrres av russetiden.