

1. **Esperimento di Ives–Stillwell** Atomi di idrogeno neutri si muovono lungo l'asse di un tubo vuoto con velocità $2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$. Uno spettrometro riceve la luce emessa da questi atomi nella direzione del moto. La luce, nel sistema a riposo degli atomi, avrebbe una lunghezza d'onda di 486.133 nm .

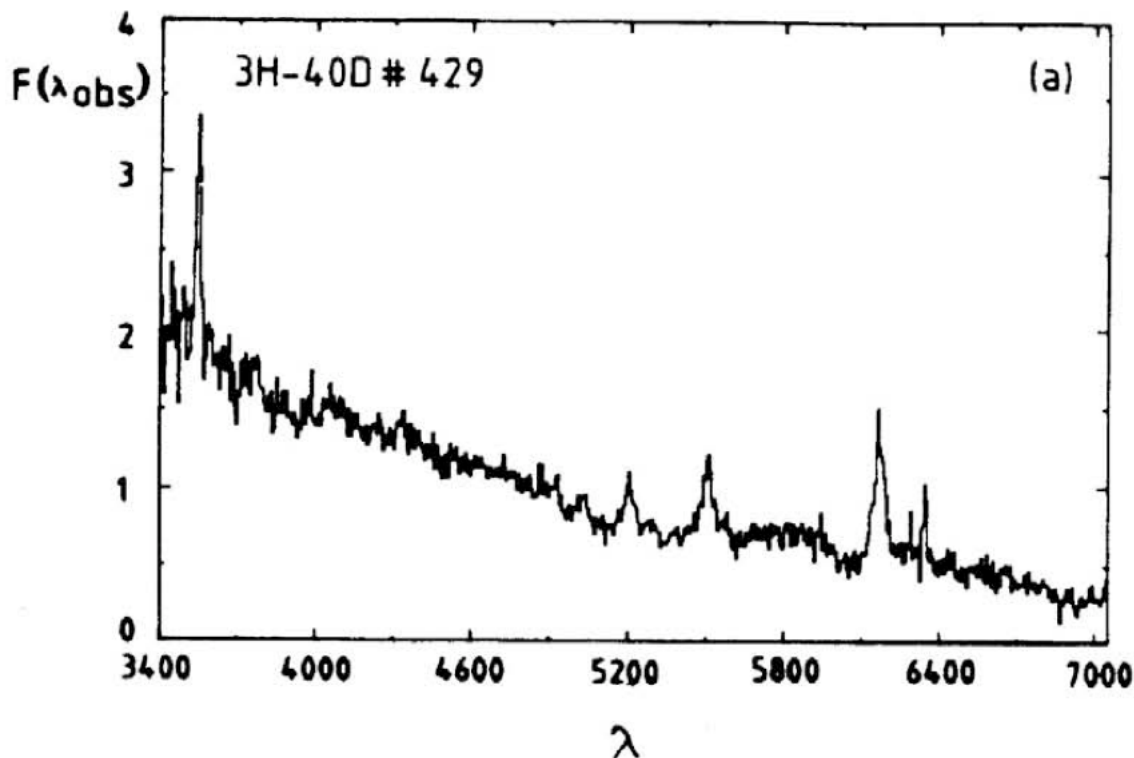
- (a) Si calcoli la lunghezza d'onda attesa per la luce emessa in avanti;
- (b) Usando uno specchio si può misurare anche la luce emessa in direzione opposta al moto. Quale è la lunghezza d'onda misurata in questo caso?
- (c) Si calcoli la differenza tra la lunghezza d'onda media misurata in questo modo e quella a riposo.

In questo modo Ives e Stillwell sono riusciti a distinguere tra le predizioni per l'effetto Doppler relativistico e classico.

2. Nello spettro del quasar 3C9, alcune delle linee dell'idrogeno risultano spostate talmente verso il rosso da osservare le loro lunghezze d'onda lunghe tre volte quella a riposo

- (a) Si mostri che l'effetto Doppler classico fornirebbe una velocità di recessione più grande della velocità della luce.
- (b) Assumendo che il moto di 3C9 rispetto alla terra sia completamente di recessione, si trovi la velocità di recessione predetta dalla teoria della relatività.

3. La figura riportata è lo spettro visibile di un quasar molto distante.



Si possono distinguere 5 linee spettrali che corrispondono ad alcune delle lunghezze d'onda emesse dal quasar corrispondenti a processi riportati in tabella. Tre di queste sono linee dell'idrogeno (distinguibili molto bene dal fondo). Si identifichino le linee e si calcoli il redshift $z = (\lambda - \lambda_0)/\lambda_0$ per questo quasar (λ e' la lunghezza d'onda nel laboratorio).

TABLE I
Laboratory wavelengths of the most observed
emission lines in the spectra of quasars

λ_{lab}	ion
6563 Å	H α
5007	[O III]
4956	[O III]
4861	H β
4363	[O III]
4340	H γ
4102	H δ
3969	H ϵ
	[Ne III]
3869	[Ne III]
3728	[O II]
2799	Mg II
1909	C III]
1549	C IV
1402	Si IV
	[O IV]
1241	N V
1216	Ly α

4. L'astronave Enterprise spara due raggi laser identici in direzioni opposte. Quanto veloce ed in che direzione si sta muovendo rispetto al vostro sistema di riferimento se i due raggi formano un angolo di 120° e sono osservati avere la stessa frequenza?
5. L'oggetto astronomico SS433 e' un sistema binario che consiste di una stella collassata che orbita una stella ordinaria dalla quale assorbe materia. Questo processo risulta in una espulsione di due getti relativistici di materia che lasciano il sistema in direzioni opposte (180°). Gli atomi in questi getti emettono le linee spettrali caratteristiche usate per misurare l'effetto Doppler di questi getti come funzione del tempo. Il fatto che l'effetto Doppler vari con il tempo mostra come i due getti stanno precedendo periodicamente in modo tale che li vediamo ad angoli diversi per tempi diversi.
 - (a) Si ricavi dal grafico lo spostamento Doppler $(\lambda - \lambda_0)/\lambda_0$ per tempi in cui entrambi i getti mostrano la stessa lunghezza d'onda;
 - (b) Si dimostri, usando la formula relativistica per l'effetto Doppler, che questo puo' avvenire soltanto quando $\theta = 90^\circ$ (cioe' quando i getti si vedono perpendicolarmente alla loro direzione). Si noti che θ e' misurato nel sistema di riferimento della Terra.

- (c) Si trovi β del getto;
- (d) Si misuri lo spostamento Doppler massimo e l'angolo massimo tra il getto e la direzione della terra.

DOPPLER CURVE FOR THE RELATIVISTIC "JET" SOURCE SS433

