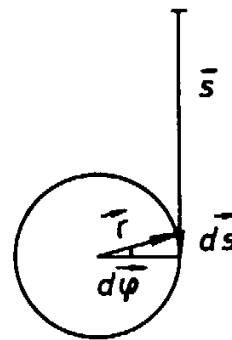


09. Zakon očuvanja mehaničke energije

1. Ključni pojmovi

Gravitacijska potencijalna energija, translacijska i rotacijska kinetička energija, Maxwellov disk, moment tromosti, kutna brzina, kutno ubrzanje, kotrljanje bez klizanja

2. Teorijski uvod



Slika 1. Maxwellov disk. Desno: presjek osovine diska s namotanom niti

U zatvorenome mehaničkom sustavu zbroj potencijalne i kinetičke energije je konstantan. Očuvanje mehaničke energije proučavat ćemo uređajem koji se zove Maxwellov disk. To je disk velika momenta tromosti, na čiju su osovinu namotane dvije niti obješene na stalak. Razmatranje gibanja Maxwellova diska slično je razmatranju kotrljanja okrugla tijela niz kosinu bez klizanja. Problem se može riješiti na više načina, od kojih ćemo mi odabrati razmatranje energije.

U početku eksperimenta disk miruje i taj položaj označimo kao ishodište potencijalne energije ($E_p = 0$). Otpuštanjem diska počinje odmotavanje niti s osovine te počinje okretanje diska i njegovo spuštanje. U bilo kojem kasnijem trenutku imamo tri doprinosa energiji: kinetičku energiju translacije težišta $E_t = \frac{1}{2}mv^2$, kinetičku energiju okretanja diska $E_r = \frac{1}{2}I_z\omega^2$ i

potencijalnu energiju $E_p = -mgs$. Ovdje smo uzeli da je potencijalna energija nula kada se disk nalazi u početnom položaju i veličinu s mjerimo prema dolje. Bitno je uočiti da je brzina translacije težišta diska (brzina propadanja diska) po iznosu jednaka obodnoj brzini osovine (brzina odmatanja niti) $v = \omega r$, gdje je r polumjer osovine (uz zanemarivu debljinu niti). Budući da pretpostavljamo kako je ukupna mehanička energija očuvana, možemo pisati:

$$E_{uk} = 0 = -mgs + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}\frac{I_z}{r^2}v^2. \quad (1)$$

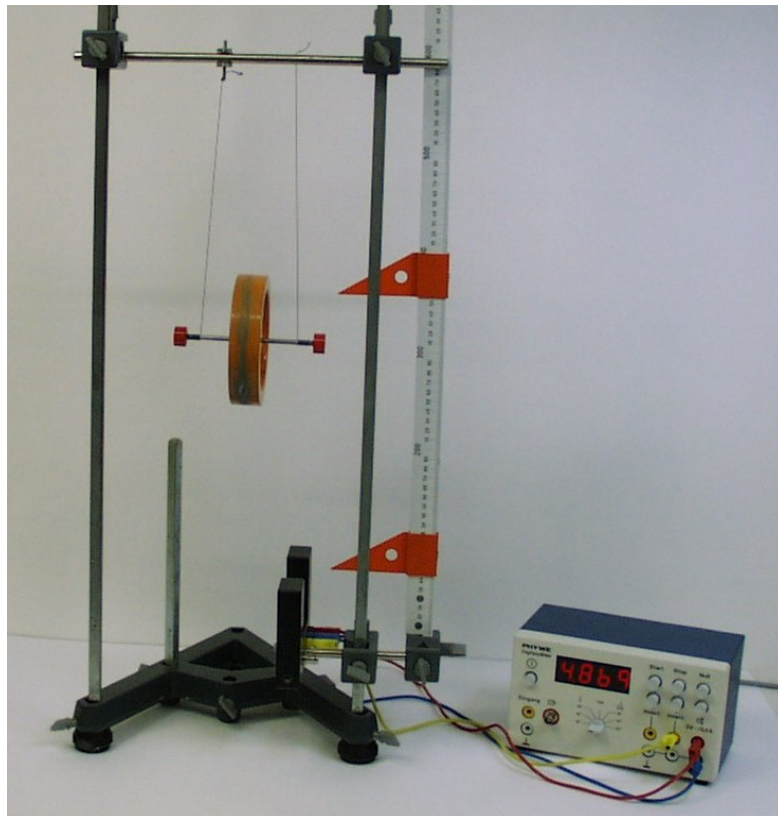
Deriviranjem ove jednadžbe po vremenu, dobivamo ubrzanje težišta

$$a = \frac{mg}{m + \frac{I_z}{r^2}}, \quad (2)$$

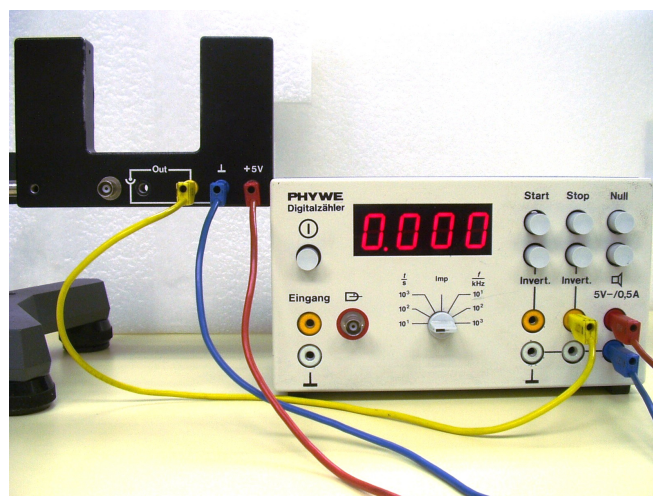
a budući da u $t=0$ vrijedi $s=0$ i $v=0$, imamo relacije za prijeđeni put i brzinu:
 $s(t) = (1/2)at^2$ i $v(t) = at$.

3. Mjerni uređaj i mjerenje

Eksperimentalni uređaj, prikazan na slici 2, sastoji se od stalka, vodoravna štapa o koji su obješene niti s Maxwellovim diskom, fotočelije s elektroničkom zapornom urom i mjerne skale na štapu s pokazivačima.



Slika 2. Eksperimentalni uređaj



Slika 3. Ispravan spoj fotočelije i zaporne ure

Pomoću regulirajućeg vijka na štapu koji nosi niti, može se osovina Maxwellova diska postaviti vodoravno kako bi gustoća namatanja niti bila približno jednaka s obje strane diska. Neravnomjerno namatanje niti uzrokuje nepravilno gibanje diska. Fotoćeliju je, nakon priključivanja na elektroničku zapornu uru (štopericu), potrebno inicijalizirati pritiskom na tipku SET na pozadini fotoćelije. Fotoćelija je spremna za uporabu tek kad crvena lampica trepće pri svakom prekidanju snopa što možete provjeriti i prstom (zaporna ura mora biti uključena no ne mora mjeriti vrijeme). Kada osovina diska presiječe svjetlosni snop, detektor šalje signal na zapornu uru. Zaporna ura, tj. njezin okidač, spaja se u žutu utičnicu ispod tipke STOP (vidi sliku 3). Mjerenje se izvodi tako da se namatanjem niti disk podigne na određenu visinu. Jedan pokazivač na mjernoj skali postavi se na tu visinu, a drugi na visinu svjetlosnog snopa fotoćelije. U trenutku otpuštanja diska pritisne se tipka START na zapornoj uri, a u trenutku kada osovina diska presiječe svjetlosni snop fotoćelije, zaporna će se ura zaustaviti. Na taj se način udaljenost s i vrijeme t mogu precizno mjeriti neovisno jedno o drugome. Polumjer osovine diska izmjerite, a masa diska je $m = 0,436$ kg.

4. Zadaci

1. Izmjerite vrijeme poniranja diska za desetak različitih visina s (na svakoj visini mjerite 5 puta). Pretpostavite da je ovisnost prijađenog puta o vremenu oblika $s = \text{const} \cdot \bar{t}^\alpha$ i metodom najmanjih kvadrata odredite eksponent α .
2. Prikažite mjerene vrijednosti u $s - \bar{t}^2$ dijagramu i izračunajte moment tromosti I_z .
3. Nacrtajte graf ovisnosti brzine o vremenu!
4. Izračunajte potencijalnu, translacijsku i rotacijsku energiju na visini fotoćelije u ovisnosti o s te ih prikažite na istom grafu, zajedno s ukupnom energijom za svaki s . Argumentirano komentirajte očuvanje energije!