

Scritto di Meccanica Analitica del 4 - 2 -2016

E. Scoppola

Soluzione esercizio 1

1) Abbiamo $OC = \sqrt{R^2 - (\frac{l}{2})^2} = \frac{l}{2}$ e e dunque otteniamo la lagrangiana

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}m\dot{y}^2 + \frac{1}{2}M\frac{l^2}{3}\dot{\theta}^2 - mgy - Mg\frac{l}{2}\sin\theta - Ky^2 + Kly\sin\theta \quad (1)$$

con equazioni del moto:

$$m\ddot{y} = -mg - 2Ky + Kl\sin\theta \quad M\frac{l^2}{3}\ddot{\theta} = -Mg\frac{l}{2}\cos\theta + Kly\cos\theta \quad (2)$$

2) I punti di equilibrio sono i punti critici del potenziale:

$$\frac{\partial V}{\partial y} = mg + 2Ky - Kl\sin\theta = 0$$

$$\frac{\partial V}{\partial \theta} = (\frac{Mg}{2} - Ky)l\cos\theta = 0$$

Per $\cos\theta = 0$ otteniamo i punti di equilibrio: $(y_1, \theta_1) = (\frac{Kl-mg}{2K}, \frac{\pi}{2})$ e $(y_2, \theta_2) = (-\frac{Kl+mg}{2K}, \frac{3\pi}{2})$. Se $\lambda := \frac{(m+M)g}{Kl} < 1$ abbiamo anche i punti $(y_{3,4}, \theta_{3,4}) = (\frac{Mg}{2K}, \arcsin\lambda)$.

Per studiare la stabilità valuto la matrice delle derivate seconde

$$V''(y, \theta) = \begin{pmatrix} 2K & -Kl\cos\theta \\ -Kl\cos\theta & -l\sin\theta(\frac{Mg}{2} - Ky) \end{pmatrix} \quad (3)$$

nei diversi punti di equilibrio, ottenendo:

$$V''(y_1, \theta_1) = \begin{pmatrix} 2K & 0 \\ 0 & -l(\frac{(m+M)}{2}g - \frac{Kl}{2}) \end{pmatrix}$$

dunque il punto (y_1, θ_1) è stabile se $\lambda < 1$, instabile altrimenti.

$$V''(y_2, \theta_2) = \begin{pmatrix} 2K & 0 \\ 0 & l(\frac{(m+M)}{2}g + \frac{Kl}{2}) \end{pmatrix}$$

e dunque (y_2, θ_2) è stabile sempre. Se $\lambda < 1$ otteniamo:

$$V''(y_{3,4}, \theta_{3,4}) = \begin{pmatrix} 2K & -Kl\cos\theta_{3,4} \\ -Kl\cos\theta_{3,4} & 0 \end{pmatrix}$$

e dunque i punti $(y_{3,4}, \theta_{3,4})$ sono instabili.

- 3) Intorno al punto di equilibrio stabile $(y_2, \theta_2) =: \mathbf{q}_0$, la lagrangiana delle piccole oscillazioni espressa in termini delle variabili $\mathbf{q} := (y, \theta)$ è data da:

$$\mathcal{L}_{po} = \frac{1}{2}(\dot{\mathbf{q}}, A\dot{\mathbf{q}}) - \frac{1}{2}(\mathbf{q} - \mathbf{q}_0, V''(y_2, \theta_2)(\mathbf{q} - \mathbf{q}_0)) \quad (4)$$

con

$$A = \begin{pmatrix} m & 0 \\ 0 & \frac{Ml^2}{3} \end{pmatrix}$$

Le pulsazioni proprie risultano determinate dall'equazione:

$$\det(V''(y_2, \theta_2) - \omega^2 A) = 0 = \begin{vmatrix} 2K - \omega^2 m & 0 \\ 0 & l\left(\frac{m+M}{2}g + \frac{Kl}{2}\right) - \omega^2 \frac{Ml^2}{3} \end{vmatrix}$$

$$\text{da cui } \omega = \sqrt{\frac{2K}{m}} \text{ e } \omega = \sqrt{3\frac{(m+M)g + Kl}{2Ml}}.$$

- 4) La nuova lagrangiana nel sistema di riferimento solidale con Π è:

$$\mathcal{L}' = \mathcal{L} - V_{centr} \quad (5)$$

con $V_{centr} = -\frac{1}{2}M\omega^2 \frac{l^2}{6} \cos^2 \theta$. I nuovi punti di equilibrio si ottengono dalle equazioni:

$$mg + 2Ky - Kl \sin \theta = 0 \quad \left[Mg \frac{l}{2} - Kyl + M\omega^2 \frac{l^2}{6} \sin \theta \right] \cos \theta = 0$$

Per $\cos \theta = 0$ otteniamo gli stessi punti (y_1, θ_1) e (y_2, θ_2) di prima. Se $\lambda' := \frac{(m+M)g}{Kl - \omega^2 M \frac{l}{3}} < 1$ abbiamo anche i due punti: $(\lambda' \frac{l}{2} - \frac{mg}{2K}, \arcsin \lambda')$.

Soluzione esercizio 2

- 1) Data la lagrangiana:

$$\mathcal{L} = \frac{\dot{q}^2 q^4}{2} - q^3 \quad (6)$$

sia $p = \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}} = \dot{q} q^4$ da cui $\dot{q} = \frac{p}{q^4}$ e dunque

$$H = \frac{p^2}{2q^4} + q^3 \quad (7)$$

Le equazioni di Hamilton sono:

$$\dot{p} = -\frac{\partial H}{\partial q} = \frac{2p^2}{q^5} - 3q^2 \quad (8)$$

$$\dot{q} = \frac{\partial H}{\partial p} = \frac{p}{q^4} \quad (9)$$

2) Applicando il procedimento di seconda specie

$$p = \frac{\partial F}{\partial q} = q^2 P \quad Q = \frac{\partial F}{\partial P} = \frac{q^3}{3} \quad (10)$$

da cui otteniamo la trasformazione:

$$P = \frac{p}{q^2} \quad Q = \frac{q^3}{3} \quad (11)$$

3) La nuova hamiltoniana è:

$$K(P, Q) = \frac{P^2}{2} + 3Q \quad (12)$$

con equazioni di Hamilton:

$$\dot{P} = -3, \quad \dot{Q} = P$$

da cui otteniamo per i dati iniziali scelti $P(0) = 0$, $Q(0) = \frac{1}{3}$ le soluzioni

$$P(t) = -3t, \quad Q(t) = \frac{1}{3} - \frac{3}{2}t^2$$

Con la trasformazione inversa otteniamo:

$$q(t) = (3Q)^{\frac{1}{3}} = \left(1 - \frac{9}{2}t^2\right)^{\frac{1}{3}} \quad (13)$$

$$p(t) = P(3Q)^{\frac{2}{3}} = -3t\left(1 - \frac{9}{2}t^2\right)^{\frac{2}{3}} \quad (14)$$

4) L'equazione di Hamilton-Jacobi indipendente dal tempo è:

$$\frac{1}{2q^4} \left(\frac{\partial W}{\partial q} \right)^2 + q^3 = E$$

da cui

$$\frac{\partial W}{\partial q} = \pm \sqrt{2q^4(E - q^3)}$$

e quindi

$$\beta = \beta(0) + t = \frac{\partial W}{\partial E} = \pm \int_{q(0)}^q \frac{q'^2}{\sqrt{2(E - q'^3)}} dq'$$

Con i dati iniziali $p(0) = 0$, $q(0) = 1$ abbiamo $E = 1$ e dobbiamo scegliere il segno -; dunque abbiamo:

$$\beta(0) + t = - \int_1^{q^3} \frac{1}{3\sqrt{2}} \frac{dy}{\sqrt{1-y}} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{1 - q^3}$$

da cui

$$q^3 = 1 - \left(\frac{3}{\sqrt{2}} (\beta(0) + t) \right)^2$$

con $\beta(0) = 0$ e dunque

$$q(t) = \left(1 - \frac{9}{2} t^2 \right)^{\frac{1}{3}}$$

e

$$p = \frac{\partial W}{\partial q} = -\sqrt{2q^4(1-q^3)} = -3t \left(1 - \frac{9}{2} t^2 \right)^{\frac{2}{3}}$$