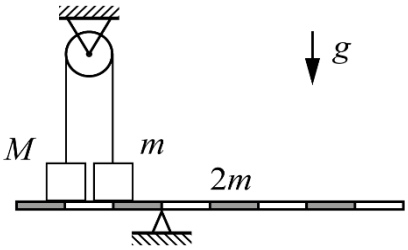


**Задача 1.8.3. Неразрывность (10 баллов).** При каких значениях масс груза $M$ возможно равновесие системы, приведенной на рисунке, если $m$ = 4,0 кг? Горизонтальный рычаг массой $2m$ разделен на 8 одинаковых участков. Нить выдерживает максимальное натяжение $T_0$ = 25 Н. $g$ = 10 Н/кг.

**Возможное решение (М. Замятнин).** Если груз $M$ очень легкий, то связанный с ним нитью груз $m$ перевешивает и касается рычага. Но вращающего момента груза $m$ относительно точки опоры недостаточно, чтобы уравновесить момент силы тяжести самого рычага. Рычаг начинает проворачиваться по часовой стрелке. Нить провисает, и оба груза $m$ и $M$ «встают» на рычаг. Для равновесия системы необходимо, чтобы выполнилось правило моментов относительно точки опоры:

$$Mg2l + mgl = 2mgl\,, \qquad (1)$$

где $l$ – длина одного участка рычага.

Тогда минимальное значение $M$ для равновесия системы равно $M = m/2$. Нить при этом не натянута.

Рассмотрим случай больших масс $M$. При $M > m$ перевешивает груз $M$ и он начинает давить на рычаг, а груз $m$ повисает на нити. Для равновесия системы теперь достаточно выполнения условия:

$$(M - m)g2l = 2mgl\text{, откуда } M = 2m. \qquad (2)$$

Если не было бы ограничения на силу натяжения нити, равновесие системы наступило при $m/2 < M < 2m$, или 2,0 кг < $M$ < 8,0 кг. Но при больших значениях $M$ груз $m$ оказывается подвешенным, и сила натяжения становится 40 Н. Нить обрывается.

Рассмотрим случай, когда нить натянута до предельного значения $T_0$, но грузы не отрываются от рычага. Правило моментов принимает вид:

$$(Mg - T_0)2l + (mg - T_0)l = 2mgl\,, \qquad (3)$$

откуда $M = 0{,}5(m + 3T_0/g) = 5{,}75$ кг.

Таким образом, равновесие системы возможно при 2,0 кг < $M$ < 5,75 кг.

| № | Задача 1.8.3. Критерии оценивания (10 баллов) | Баллы |
|---|---|---|
| 1 | Учет нескольких возможных сценариев нарушения равновесия | 1 |
| 2 | Анализ случая малых значений $M$ и правило моментов (1) | 1,5 |
| 3 | Нахождение нижней границы: $M > 2{,}0$ кг | 1 |
| 4 | Анализ случая больших значений $M$ и правило моментов (2) | 1,5 |
| 5 | Нахождение верхней границы $M < 8{,}0$ кг | 1 |
| 6 | Учет предельного значения силы натяжения | 1 |
| 7 | Правило моментов (3) | 2 |
| 8 | Явно указан **правильный** диапазон допустимых значений $M$, а не только его границы | 1 |