

問1 力学的エネルギー保存の法則に関する記述として、最も適切なものはどれか。（2020年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|---|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1. 保存力のみが働く系では、運動エネルギーと位置エネルギーの和は一定に保たれる。 | 2. 摩擦力が働く場合、力学的エネルギーは常に保存される。 | 3. 弾性エネルギーは、物体の運動エネルギーにのみ変換される。 | 4. 重力による位置エネルギーは、基準点をどこに設定しても値は変わらない。 |
|---|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|

問2 物体に働く合力がゼロの状態から、一時的に合力がゼロでない状態を経て、再び合力がゼロになる運動の変化に関する記述として最も適切なものはどれか。（2022年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| 1. 合力がゼロでない区間では、物体の速さは一定のまま上昇する。 | 2. 合力が再びゼロになった直後、物体は必ず静止する。 | 3. 合力がゼロでない区間では、物体に加速度が生じ、速さが変化する。 | 4. 合力がゼロでない区間では、物体は必ず減速する。 |
|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------|

問3 質量Mの潜水艦が、密度 ρ の海水中で静止している。潜水艦の全容積をVとし、バラストタンクに海水を取り込むことで浮力を調整する場合、潜水艦が静止するために必要なバラストタンク内の海水の体積 V_w として正しい式はどれか。（2007年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1. $M - \rho V$ | 2. $M/\rho - V$ | 3. $\rho V - M$ | 4. $V - M/\rho$ |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|

問4 物体が流体中を落下する際、重力と空気抵抗が釣り合い、速度が一定になる現象を何と呼ぶか。（2023年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|--------|---------|----------|-----------|
| 1. 初速度 | 2. 終端速度 | 3. 平均の速さ | 4. 自由落下速度 |
|--------|---------|----------|-----------|

問5 厚さと密度が一樣な半径 3.0 cm の円板から、その中心 O から 1.0 cm 離れた点を中心とする半径 2.0 cm の円板を切り取った。残った部分の重心は、元の円板の中心 O から、切り取った円板の中心とは反対方向に何 cm 離れた位置にあるか。最も適当な数値を次のうちから一つ選べ。（2018年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|------------|-----------|------------|-----------|
| 1. 0.40 cm | 2. 1.2 cm | 3. 0.80 cm | 4. 1.6 cm |
|------------|-----------|------------|-----------|

問6 円運動における向心力に関する記述として、物理学的な観点から最も適切なものはどれか。（2019年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|---------------------------------------|--|---|---|
| 1. 向心力は物体に働く力の一種であり、常に速度ベクトルと平行に作用する。 | 2. 向心力は円運動の半径方向内向きに働く合力であり、物体の速さを変化させる役割を持つ。 | 3. 向心力は慣性力の一種であり、円運動する観測者から見た場合のみ現れる力である。 | 4. 向心力は円運動の半径方向内向きに働く合力であり、物体の運動の向きを変化させる役割を持つ。 |
|---------------------------------------|--|---|---|

問7 質量 2.0 kg の荷物を鉛直上向きに引き上げる際、速度が 2.0 m/s^2 の一定の割合で増加している加速期間において、ロープの張力 T の大きさは何 N か。ただし、重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。（2008年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1. 23.6 N | 2. 19.6 N | 3. 27.6 N | 4. 39.2 N |
|-----------|-----------|-----------|-----------|

問8 質量が等しい物体A、B、Cが滑車を介して連結され、全体が静止している状況を考える。このとき、物体Aを鉛直上向きに吊っているひもの張力と、物体Aにはたらく重力の関係として最も適切なものはどれか。（2018年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|------------------|--------------|------------------|----------------|
| 1. 張力は重力の3分の1である | 2. 張力は重力と等しい | 3. 張力は重力の2分の1である | 4. 張力は重力の2倍である |
|------------------|--------------|------------------|----------------|

問9 質量 m の物体が、水平面から斜面を経て再び水平面へ移動する運動を考える。この物体が斜面を通過している間、鉛直上向きの運動量成分 p_z が時間 t とともにどのように変化するかを説明したものと最も適当なものはどれか。ただし、斜面では重力のみが物体に鉛直下向きの力を及ぼすものとする。（2005年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|--|--|---|---|
| 1. 斜面通過中は加速度が一定であるため p_z は時間とともに増加し続け、通過後は一定値となる | 2. 斜面通過中は重力による力積を受けて p_z が減少し、通過後は一定値となる | 3. 斜面通過中は力学的エネルギーが保存されるため p_z は常に一定であり、通過後もその値を維持する | 4. 斜面通過中は重力の影響で p_z は正から負へ急激に変化し、通過後は負の一定値となる |
|--|--|---|---|

問10 高さ与时刻の関係を示すグラフにおいて、鉛直投げ上げ運動の放物線が描かれている。重力加速度の大きさが小さくなった場合、グラフの形状はどのように変化するか。（2006年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1. 放物線の幅が広がり、頂点が低くなる | 2. 放物線の幅が狭まり、頂点が高くなる | 3. 放物線の幅が広がり、頂点が高くなる | 4. 放物線の幅が狭まり、頂点が低くなる |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|

答え合わせ・解説 No.1

問1	答え 1 保存力のみが働く系では、運動エネルギーと位置エネルギーの和は一定に保たれる。	力学的エネルギー保存の法則は、重力や弾性力のような保存力のみが仕事をする場合に成立する。摩擦力や空気抵抗のような非保存力が働くと、力学的エネルギーの一部は熱エネルギーなどに変換され、力学的エネルギーの総量は保存されない。また、位置エネルギーの基準点は任意に設定できるが、その値自体は基準点によって変化する。
問2	答え 3 合力がゼロでない区間では、物体に加速度が生じ、速さが変化する。	ニュートンの運動の法則によれば、物体に働く合力がゼロのときは静止または等速直線運動を続ける。一方、合力がゼロでないときは、その合力の方向に加速度が生じ、物体の速度が変化する。したがって、合力がゼロでない区間では、物体は加速または減速し、速さが変化する。
問3	答え 4 $V - M/\rho$	潜水艦が静止しているとき、重力と浮力が釣り合っている。潜水艦の質量をM、バラストタンク内の水の質量を ρV_w とすると、全体の重力は $(M + \rho V_w)g$ となる。一方、浮力は排除した水の体積Vを用いて ρVg と表される。つり合いの式 $(M + \rho V_w)g = \rho Vg$ を V_w について解くと、 $V_w = V - M/\rho$ となる。
問4	答え 2 終端速度	物体が流体中を落下するとき、速度の増加に伴い空気抵抗（抗力）も増大する。重力と空気抵抗が等しくなると、合力がゼロとなり、物体は加速度を持たず等速直線運動を行うようになる。このときの一定の速度を終端速度と呼ぶ。落下距離と落下時間から平均の速さを算出し、その値が変化しなくなった状態を観測することで決定される。
問5	答え 3 0.80 cm	元の円板の面積を $9 * \pi$ 、切り取った円板の面積を $4 * \pi$ とすると、残った部分の面積は $5 * \pi$ である。元の円板の中心 O を原点とし、切り取った円板の中心の座標を -1.0 cm とすると、残った部分の重心の座標 x は、合成重心の公式より、 $5 * \pi * x + 4 * \pi * (-1.0) = 0$ が成り立つ。これを解くと、 $x = 0.80 \text{ cm}$ となり、中心 O から反対方向に 0.80 cm 離れた位置にある。
問6	答え 4 向心力は円運動の半径方向内向きに働く合力であり、物体の運動の向きを変化させる役割を持つ。	向心力は、円運動を行う物体に対して中心方向へ働く合力です。この力は速度ベクトルに対して常に垂直に作用するため、物体の速さ（速度の大きさ）は変化させず、速度の向きのみを変化させて円軌道を維持します。慣性力ではなく、実在する力（重力、張力、摩擦力など）の合力として現れます。
問7	答え 1 23.6 N	運動方程式 $ma = T - mg$ に数値を代入する。 $m = 2.0 \text{ kg}$, $a = 2.0 \text{ m/s}^2$, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ を用いると、 $2.0 \times 2.0 = T - 2.0 \times 9.8$ となる。これを整理すると、 $4.0 = T - 19.6$ となり、 $T = 23.6 \text{ N}$ と求められる。加速期間においては、慣性力に抗して荷物を加速させる必要があるため、張力は重力よりも大きくなる。
問8	答え 2 張力は重力と等しい	物体が静止しているとき、その物体にはたらく力は釣り合っている。物体Aに注目すると、鉛直上向きの張力と鉛直下向きの重力が作用しており、これらが釣り合っているため、張力の大きさと重力の大きさは等しくなる。滑車の反対側に複数の物体が連結されていても、物体A単体にかかる力のつり合い条件は変わらない。
問9	答え 2 斜面通過中は重力による力積を受けて p_z が減少し、通過後は一定値となる	運動量と力積の関係より、物体に働く力と時間の積が運動量の変化量に等しい。斜面通過中、物体には鉛直下向きの重力が働くため、鉛直上向きの運動量成分 p_z に対して負の力積が作用し、 p_z は減少する。斜面を通過し終えると、水平面上では鉛直方向の合力がゼロとなるため、運動量は変化せず一定に保たれる。エネルギー保存則や加速度一定の条件とは異なり、力積による運動量の変化を正しく捉える必要がある。
問10	答え 3 放物線の幅が広がり、頂点が高くなる	高さ与时刻のグラフにおいて、放物線の頂点は最高点に達する時刻と高さを表す。重力加速度が小さくなると、最高点に達するまでの時間（横軸）が増加するため放物線の幅が広がり、最高点の高さ（縦軸）も増加するため頂点は上方に移動する。この変化は、重力による引き戻す力が弱まることで運動の持続性が増すことを意味する。

問1 なめらかな水平面上において、質量が等しい2つの物体B1とB2が軽いばねで結ばれて静止している。ここに、別の物体AがB1に衝突し、ばねを押し縮めながら一体となって運動を始めた。衝突後、ばねの縮みが最大となる瞬間の状態に関する記述として最も適当なものを、次のうちから一つ選べ。（2026年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|---|---|--|--|
| 1. B1とB2の速度が等しくなり、運動エネルギーの一部がばねの弾性エネルギーに最も多く変換された状態である。 | 2. B1の速度がゼロになり、すべての運動エネルギーがばねの弾性エネルギーに変換された状態である。 | 3. B1とB2の運動量の和が最大となり、ばねの弾性エネルギーが最小となった状態である。 | 4. B2の速度が最大となり、ばねの弾性エネルギーがゼロになった状態である。 |
|---|---|--|--|

問2 高さhの点から水平方向に初速度v0で投げ出された小球が、距離L離れた鉛直な壁に衝突するまでの時間として正しいものはどれか。ただし、空気抵抗は無視できるものとする。（2015年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|----------------------|--------------|------------------|--------------|
| 1. $v_0 \cdot g / L$ | 2. v_0 / L | 3. $L \cdot v_0$ | 4. L / v_0 |
|----------------------|--------------|------------------|--------------|

問3 水平でなめらかな床の上に質量Mの台があり、その上に質量mの小物体が載っている。台と小物体の間の動摩擦係数を μ 、重力加速度の大きさをgとする。台を水平右向きに大きさFの力で引いたとき、台と小物体がともに右向きに加速度aで運動している場合、この運動における加速度aを表す式として正しいものはどれか。ただし、小物体は台の上で滑っているものとする。

（2008年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. $F / (M + m)$ | 2. F / M | 3. $(F - \mu mg) / (M + m)$ | 4. $(F + \mu mg) / (M + m)$ |
|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|

問4 ばね定数がkおよびKの二つのばねを並列に接続した系において、この系全体を一つのばねとみなしたときの合成ばね定数として適切なものはどれか。（2009年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|--------------------------|------------|------------------|----------------|
| 1. $k \cdot K / (k + K)$ | 2. $k + K$ | 3. $1 / (k + K)$ | 4. $k \cdot K$ |
|--------------------------|------------|------------------|----------------|

問5 平面上の二つの力F1とF2の合力を求める際、各成分を足し合わせる手法が成り立つ物理的な根拠として最も適切なものはどれか。（2016年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------------|
| 1. 力はベクトル量であり、各軸方向の成分に分解して独立に扱うことができるから | 2. 力はスカラー量であり、すべての成分を単純に加算するだけで大きさが求まるから | 3. 合力の大きさは常に各力の大きさの和に等しく、成分の計算は不要だから | 4. 力は常にx軸またはy軸のいずれか一方にのみ作用するため |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------------|

問6 質量mのおもりが一端を固定された糸で吊るされ、水平方向に一定の加速度aで運動している。このとき、糸が鉛直方向となす角度を θ 、重力加速度をgとすると、加速度aとこれらの物理量の関係として正しいものはどれか。（2009年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1. $a = g / \tan(\theta)$ | 2. $a = g \cdot \sin(\theta)$ | 3. $a = g \cdot \cos(\theta)$ | 4. $a = g \cdot \tan(\theta)$ |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|

問7 ある水力発電所において、高さ100 mの貯水槽から毎秒1000 kgの水が落下し、発電機を回している。このとき、水が持つ位置エネルギーの減少分をすべて電気エネルギーに変換できると仮定した場合の理論上の出力と、実際に得られた電力が431.2kWであるときのエネルギー変換効率の組み合わせとして最も適当なものはどれか。ただし、重力加速度の大きさを 9.8m/s^2 とする。（2009年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1. 理論出力 1000 kW、効率 43% | 2. 理論出力 980 kW、効率 40% | 3. 理論出力 980 kW、効率 44% | 4. 理論出力 9800 kW、効率 4.4% |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|

問8 ばねに接続された物体が斜面を滑り降りる際、弾性エネルギー、重力による位置エネルギー、および運動エネルギーの総和（力学的エネルギー）が保存される条件として、最も適切なものはどれか。（2013年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| 1. ばねの伸びが自然長のとき | 2. 斜面に摩擦力が働かないとき | 3. 物体の速さが最大となるとき | 4. 斜面の傾斜角が0度のとき |
|-----------------|------------------|------------------|-----------------|

問9 質量2.0 kgの荷物を、摩擦のない高さ5.0 mの滑り台の頂上から静かに滑らせた。重力加速度の大きさを 9.8m/s^2 としたとき、地面に到達した直後の荷物の速さとして最も近い値はどれか。（2004年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|------------|------------|-------------|-------------|
| 1. 9.9 m/s | 2. 4.9 m/s | 3. 19.6 m/s | 4. 49.0 m/s |
|------------|------------|-------------|-------------|

答え合わせ・解説 No.2

問1	答え 1 B1とB2の速度が等しくなり、運動エネルギーの一部がばねの弾性エネルギーに最も多く変換された状態である。	衝突後の2物体の運動において、ばねの縮みが最大となるのは、2物体の相対速度がゼロ、すなわちB1とB2の速度が等しくなった瞬間である。このとき、重心運動の運動エネルギーを除く相対運動のエネルギーがすべてばねの弾性エネルギーに変換されるため、弾性エネルギーは最大となる。運動量の総和は外力が働かないため常に一定である。
問2	答え 4 L / v_0	水平投射において、小球は水平方向には初速度 v_0 で等速直線運動を行う。壁までの水平距離が L であるとき、壁に到達するまでの時間は、水平方向の距離を水平方向の速度で割ることで求められる。鉛直方向には重力加速度の影響で自由落下運動を行うが、水平方向の移動距離と速度の関係には直接影響しないため、時間は L/v_0 となる。
問3	答え 3 $(F - \mu mg) / (M + m)$	台と小物体を一つの系として考えると、系全体に働く水平方向の外力は、引く力 F と、小物体が台から受ける動摩擦力 μmg の反作用である。小物体が台から受ける動摩擦力は μmg であり、その反作用として台は左向きに μmg の力を受ける。したがって、系全体の運動方程式は $F - \mu mg = (M + m)a$ となり、これを a について解くと $a = (F - \mu mg) / (M + m)$ となる。
問4	答え 2 $k + K$	並列接続されたばね系では、系全体に同じ伸び d が生じるとき、系全体の復元力 F は各ばねの復元力の和となります。 $F = kd + Kd = (k + K)d$ となるため、合成ばね定数は各ばね定数の和である $k + K$ となります。直列接続の場合とは異なり、並列ではばね定数が単純に加算される点が物理学上の重要な性質です。
問5	答え 1 力はベクトル量であり、各軸方向の成分に分解して独立に扱うことができるから	力は大きさだけでなく向きを持つベクトル量である。ベクトルは直交する成分に分解することが可能であり、分解された各成分は互いに独立して扱うことができる。そのため、複数のベクトルを合成する際には、各軸方向の成分ごとに代数和をとることで、合力の成分を正確に算出することができる。これはベクトル解析における基本的な性質である。
問6	答え 4 $a = g * \tan(\theta)$	おもりとともに運動する観測者から見ると、おもりには重力 mg 、糸の張力 T 、および水平方向に慣性力 ma が働いて静止している。鉛直方向の力のつり合いから $T * \cos(\theta) = mg$ 、水平方向の力のつり合いから $T * \sin(\theta) = ma$ が成り立つ。これら2式の比をとると、 $\tan(\theta) = a / g$ となり、整理すると $a = g * \tan(\theta)$ が導かれる。
問7	答え 3 理論出力 980 kW、効率 44%	位置エネルギーの減少分（仕事率）は、質量 m 、重力加速度 g 、高さ h を用いて mgh で求められる。毎秒1000 kgの水が100 m落下する場合、 $1000 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 100 \text{ m} = 980,000 \text{ J/s} = 980 \text{ kW}$ となる。実際の出力が431.2 kWであるため、効率は $431.2 / 980 = 0.44$ となり、44%と算出される。
問8	答え 2 斜面に摩擦力が働かないとき	力学的エネルギー保存の法則は、物体に働く力が重力や弾性力のような保存力のみである場合に成立する。摩擦力や空気抵抗のような非保存力が働くと、その分だけ力学的エネルギーが熱エネルギー等に散逸し、総和は一定に保たれない。したがって、斜面において摩擦力が無視できる理想的な環境下でのみ、エネルギーの総和は保存される。
問9	答え 1 9.9 m/s	力学的エネルギー保存の法則より、頂上での位置エネルギー mgh が、地面での運動エネルギー $(1/2)mv^2$ に変換されます。 $mgh = (1/2)mv^2$ より、 $v = \sqrt{2gh}$ となります。 $v = \sqrt{2 * 9.8 * 5.0} = \sqrt{98}$ となり、約9.9 m/sと求められます。

問1 物体に働く力積と運動量の関係に関する記述として、物理学的に正しいものはどれか。（2021年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|--|--------------------------------|--|---------------------------------------|
| 1. 力積の単位は N/s であり、運動量の単位である $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ とは異なる。 | 2. 力積はスカラー量であり、その向きを考慮する必要はない。 | 3. 衝突において、物体が受ける力積の総和がゼロであれば、運動量は必ず変化する。 | 4. 物体が静止している場合、物体に働く水平方向の力積の総和はゼロである。 |
|--|--------------------------------|--|---------------------------------------|

問2 質量 2.0 kg の荷物を、摩擦のない高さ 5.0 m の滑り台の頂上から静かに滑らせた。重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 としたとき、地面に到達した直後の荷物の速さとして最も近い値はどれか。（2004年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1. 9.9 m/s | 2. 4.9 m/s | 3. 19.6 m/s | 4. 49.0 m/s |
|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|

問3 あるモーターが一定の力で物体を動かし、10秒間で500ジュールの仕事をした。このモーターの仕事率は何ワットか。（2006年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|------------|----------|------------|-----------|
| 1. 5000ワット | 2. 50ワット | 3. 0.02ワット | 4. 500ワット |
|------------|----------|------------|-----------|

問4 同一の作用点に複数の力が作用するとき、それらの合力を求める方法に関する記述として最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。（2025年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|--|---|------------------------------------|---|
| 1. それぞれの力の作用線の距離の比に応じて、大きさを比例配分して足し合わせる。 | 2. すべての力の大きさの和を合力の大きさとし、最も大きい力と同じ向きを合力の向きとする。 | 3. それぞれの力をベクトルとして表し、それらのベクトル和を求める。 | 4. すべての力を水平方向と鉛直方向に分解し、それぞれの方向の最大値の差を合力とする。 |
|--|---|------------------------------------|---|

問5 密度が ρ の氷山が、密度が ρ_0 の海水に浮いている。氷山全体の体積を V とし、海面上の体積が αV であるとき、この氷山にはたらく浮力の大きさとして正しいものはどれか。ただし、重力加速度を g とする。（2026年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|------------------------|-----------------|----------------------|---------------|
| 1. $\rho_0 \alpha V g$ | 2. $\rho_0 V g$ | 3. $\rho \alpha V g$ | 4. $\rho V g$ |
|------------------------|-----------------|----------------------|---------------|

問6 2つの物体が衝突するとき、反発係数（はねかえり係数） e の値によって衝突の性質が分類される。 e の値と衝突前後の運動エネルギーの総和の変化に関する記述として最も適切なものはどれか。ただし、外部からの力は働かないものとする。（2026年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|--|--|--|--|
| 1. $e = 0$ のときは完全非弾性衝突と呼ばれ、衝突後に2つの物体は合体せず、運動エネルギーの総和は増加する。 | 2. $e = 1$ のときは弾性衝突と呼ばれ、衝突前後の運動エネルギーの総和は保存される。 | 3. $0 < e < 1$ のときは非弾性衝突と呼ばれ、衝突後の運動エネルギーの総和は衝突前より増加する。 | 4. 反発係数 e の値に関わらず、衝突前後の運動エネルギーの総和は常に保存される。 |
|--|--|--|--|

問7 水平面上を滑る物体が動摩擦力のみを受けて減速運動をする際、その運動に関する記述として最も適切なものはどれか。（2011年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| 1. 動摩擦係数が大きいほど、停止するまでの時間が短くなる。 | 2. 物体の初速度が大きいほど、停止するまでの加速度の大きさが大きくなる。 | 3. 物体の質量が大きいほど、停止するまでの時間が長くなる。 | 4. 物体に働く動摩擦力は、物体の速度が減少するにつれて小さくなる。 |
|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|

問8 断面積 S 、質量 m の円筒容器が、密度 ρ の液体に浮かんで静止している。容器の底面が液体表面から深さ h の位置にあるとき、容器にはたらく浮力の大きさとして正しい式はどれか。（2020年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|---------------|------------|-----------------|-------------------|
| 1. $\rho S g$ | 2. $m S g$ | 3. $\rho S h g$ | 4. $\rho S / h g$ |
|---------------|------------|-----------------|-------------------|

問9 機関車が客車を牽引する際、乾電池の化学エネルギーが運動エネルギーに変換される過程において、エネルギーの損失が生じる主な要因として最も適切なものはどれか。（2019年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|-----------------------|---------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1. 重力による位置エネルギーの完全な保存 | 2. 乾電池内部での光エネルギーの発生 | 3. 客車が運動することによる化学エネルギーの増加 | 4. 電気回路やモーターにおける熱エネルギーへの散逸 |
|-----------------------|---------------------|---------------------------|----------------------------|

答え合わせ・解説 No.3

問1	答え 4 物体が静止している場合、物体に働く水平方向の力積の総和はゼロである。	力積 I は力 F と時間 t の積 ($I = Ft$) であり、運動量の変化量 (Δp) と等しい。物体が静止し続けている場合、その運動量は変化していないため、物体に働く力積の総和はゼロである。力積はベクトル量であり、向きを持つ。運動量の単位は $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ であり、力積の単位 $\text{N} \cdot \text{s}$ と次元的に一致する。
問2	答え 1 9.9 m/s	力学的エネルギー保存の法則より、頂上での位置エネルギー mgh が、地面での運動エネルギー $(1/2)mv^2$ に変換されます。 $mgh = (1/2)mv^2$ より、 $v = \sqrt{2gh}$ となります。 $v = \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 5.0} = \sqrt{98}$ となり、約9.9 m/sと求められます。
問3	答え 2 50ワット	仕事率 (W) は、仕事 (J) を時間 (s) で割ることで求められる。本問では、500ジュールの仕事を10秒間で行っているため、 $500 \div 10$ を計算すると50となる。したがって、このモーターの仕事率は50ワットである。ジュールやニュートンなどの単位を混同せず、定義に基づいて計算することが重要である。
問4	答え 3 それぞれの力をベクトルとして表し、それらのベクトル和を求める。	複数の力が一点に作用する場合、それらの合力は、それぞれの力を表すベクトルの和（ベクトル和）として求められます。力の大きさは単純に足し合わせることはできず、向きを考慮した合成が必要です。
問5	答え 4 ローかける(1-アルファ)かけるVかけるg	アルキメデスの原理により、浮力の大きさは物体が押しのけている流体（海水）の重さに等しい。氷山が海面下に沈んでいる部分の体積は、全体の体積 V から海面上の体積 αV を引いた、 $V(1-\alpha)$ となる。したがって、海水の密度を ρ 、重力加速度を g とすると、浮力は「海水の密度 $\times$ 海面下の体積 $\times$ 重力加速度」となり、 $\rho V(1-\alpha)g$ と表される。
問6	答え 2 $e = 1$ のときは弾性衝突と呼ばれ、衝突前後の運動エネルギーの総和は保存される。	反発係数 e が 1 の衝突は弾性衝突と呼ばれ、衝突の前後で運動エネルギーの総和が保存される。 $0 < e < 1$ の衝突は非弾性衝突（特に $e = 0$ は完全非弾性衝突）と呼ばれ、衝突の際に熱や音などが発生するため、運動エネルギーの総和は減少する。運動量保存の法則は e の値に関わらず常に成り立つが、運動エネルギーは弾性衝突の場合のみ保存される。
問7	答え 1 動摩擦係数が大きいほど、停止するまでの時間が短くなる。	運動方程式 $ma = -\mu' mg$ より、加速度の大きさは $\mu' g$ であり、これは質量 m に依存しない。一方、停止までの時間 t は $t = v / (\mu' g)$ と表されるため、動摩擦係数 μ' が大きいほど分母が大きくなり、停止時間は短くなる。動摩擦力は速度に関わらず一定の値 $\mu' mg$ をとるため、速度の減少に伴って変化することはない。
問8	答え 3 ρShg	アルキメデスの原理により、液体に浮かぶ物体にはたらく浮力の大きさは、その物体が排除した液体の重さに等しい。円筒容器の底面が深さ h まで沈んでいるとき、排除された液体の体積は断面積 S と深さ h の積である Sh となる。これに液体の密度 ρ と重力加速度 g を乗じることで、浮力の大きさ ρShg が導かれる。静止状態では、この浮力と容器にはたらく重力 mg が釣り合っている。
問9	答え 4 電気回路やモーターにおける熱エネルギーへの散逸	エネルギー変換の過程では、すべてのエネルギーが目的とする運動エネルギーに変換されるわけではありません。電気回路の抵抗による発熱や、モーターの摩擦熱など、一部は熱エネルギーとして周囲に放出されます。これは熱力学の法則に従い、エネルギー変換効率が100%にならないことを示しており、現実の物理現象では不可避な損失です。

問1 ばねの自然の長さからの伸び x とばね定数 k 、物体にはたらく重力 mg の関係について、物体が床から離れる瞬間の物理的な意味として最も適切なものはどれか。（2019年 全国公立入試 類似）

1. ばねの弾性エネルギーが重力による位置エネルギーと等しくなる。
2. 弾性力が重力よりも大きくなり、物体が加速し始める。
3. 重力が弾性力よりも大きくなり、物体が床に押し付けられる。
4. 弾性力が重力とつり合い、物体にはたらく合力がゼロになる。

問2 太陽の周りを公転する惑星が、太陽からの距離 r を増大させながら遠ざかっているとき、惑星の運動エネルギーと万有引力による位置エネルギーの変化に関する記述として最も適切なものはどれか。ただし、無限遠を位置エネルギーの基準点とする。（2018年 全国公立入試 類似）

1. 運動エネルギーは増加し、位置エネルギーは減少して負の方向に大きくなる。
2. 運動エネルギーは減少し、位置エネルギーは増加してゼロに近づく。
3. 運動エネルギーと位置エネルギーの両方が増加する。
4. 運動エネルギーと位置エネルギーの両方が減少する。

問3 風速が10 m/sから15 m/sの範囲において、出力が20 kWで一定となる風力発電機がある。この風力発電機が風速12 m/sの風を受けて1日（24時間）連続して稼働したとき、この風力発電機が得る発電量は、一般家庭の1日の消費電力量である18kWhの約何倍になるか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。（2023年 全国公立入試 類似）

1. 10倍
2. 24倍
3. 27倍
4. 48倍

問4 長さ $2l$ の均質な棒が水平に保たれ、両端を鉛直上向きの糸で吊るされている。棒の重心が左端から距離 l の位置にあるとき、左端の糸の張力 T_A と右端の糸の張力 T_B の比 T_A/T_B はどのように表されるか。（2014年 全国公立入試 類似）

1. $(2l - l) / l$
2. $l / (2l - l)$
3. $l / 2l$
4. $2l / l$

問5 力学的エネルギーの損失に関する記述として最も適切なものはどれか。（2015年 全国公立入試 類似）

1. 壁との衝突において、反発係数が1より小さい場合、小球の運動エネルギーは保存される。
2. 壁との衝突において、水平方向の速度成分が変化しても、運動エネルギーは変化しない。
3. 壁との衝突において、力学的エネルギーの損失分は、主に衝突時の熱や音などのエネルギーに変換される。
4. 壁との衝突において、反発係数が0の場合、小球は衝突前の速度と同じ大きさで跳ね返る。

問6 断面積 S 、長さ L 、密度 ρ の円柱状の浮きの下端に質量 m のおもりが吊り下げられ、水面で静止している。このとき、水面から上の浮きの高さ x を求める式として正しいものはどれか。ただし、水の密度を ρ_0 、重力加速度の大きさを g とする。（2009年 全国公立入試 類似）

1. $x = L - (\rho * S * L + m) / (\rho_0 * S)$
2. $x = L - (\rho_0 * S * L) / (\rho * S + m)$
3. $x = (\rho * S * L + m) / (\rho_0 * S)$
4. $x = L - (\rho * S * L) / (\rho_0 * S + m)$

問7 水平な床にちょうつがい固定された、長さ L 、質量 m の様な棒がある。棒は水平面から30度の角度を保ち、先端に取り付けられた水平な糸によって引かれて静止している。糸の他端には滑車を介して質量 M のおもりが吊り下げられている。おもりの質量 M を表す式として正しいものを、次のうちから一つ選べ。ただし、重力加速度の大きさを g とし、糸と滑車の質量および摩擦は無視できるものとする。（2007年 全国公立入試 類似）

1. $\sqrt{3} * m$
2. $(\sqrt{3}/4) * m$
3. $(1/2) * m$
4. $(\sqrt{3}/2) * m$

問8 質量 m の物体が水平面上を速度 v_0 で進み、固定された鉛直な壁に反発係数 e で衝突した。この衝突によって失われた力学的エネルギーの量として正しいものはどれか。（2026年 全国公立入試 類似）

1. 二分の一 $m v_0$ の二乗 $(1 - e)$
2. 二分の一 $m v_0$ の二乗 $(1 - e)$ の二乗
3. 二分の一 $m v_0$ の二乗 $(1 + e)$
4. 二分の一 $m v_0$ の二乗 $(1 + e)$ の二乗

問9 質量 m の小球を鉛直上向きに投げ上げたとき、小球が上昇している最中に受ける空気抵抗の向きとして正しいものはどれか。（2023年 全国公立入試 類似）

1. 鉛直下向き
2. 鉛直上向き
3. 水平方向
4. 重力と同じ向き

答え合わせ・解説 No.4

問1	答え 4 弾性力が重力とつり合い、物体にはたらく合力がゼロになる。	物体が床から離れる瞬間とは、床からの垂直抗力がゼロになる境界の状態を指す。このとき、物体にはたらく力は鉛直下向きの重力と鉛直上向きの弾性力のみであり、これらがつり合うことで合力がゼロとなり、物体は静止または等速運動の状態を維持する。このつり合い条件がフックの法則における伸びを決定する物理的根拠である。
問2	答え 2 運動エネルギーは減少し、位置エネルギーは増加してゼロに近づく。	惑星が太陽から遠ざかる際、万有引力が運動方向と逆向きに働くため、惑星は減速し運動エネルギーは減少する。一方、万有引力による位置エネルギーは $U = -GMm/r$ で表され、距離 r が増加すると分母が大きくなるため、負の値である位置エネルギーは増加してゼロに近づく。力学的エネルギー保存則により、全エネルギーは一定に保たれる。
問3	答え 3 27倍	風速 12 m/s は 10 m/s から 15 m/s の範囲内であるため、風力発電機の出力は 20 kW で一定である。この発電機が 24 時間稼働したときの発電量は、20 kW に 24 時間を掛けた 480 kWh となる。一般家庭の 1 日の消費電力量 18 kWh で割ると、 $480 / 18 = 26.6\dots$ 倍となり、最も近い値は 27 倍である。
問4	答え 1 $(2l - l_1) / l_1$	棒が水平に静止しているとき、任意の点まわりの力のモーメントの和はゼロになる。重心まわりのモーメントのつりあいを考えると、左端の張力 TA によるモーメントと右端の張力 TB によるモーメントが釣り合う。左端から重心までの距離が l_1 であるため、右端から重心までの距離は $2l - l_1$ となる。したがって、 $TA \cdot l_1 = TB \cdot (2l - l_1)$ が成立し、張力の比 TA/TB は $(2l - l_1) / l_1$ と求められる。
問5	答え 3 壁との衝突において、力学的エネルギーの損失分は、主に衝突時の熱や音などのエネルギーに変換される。	力学的エネルギーが保存されるのは、保存力のみが働く場合である。壁との衝突のような非弾性衝突では、反発係数 e が 1 未満であれば運動エネルギーの一部が失われる。この失われたエネルギーは、衝突時の変形による熱エネルギーや音エネルギー、あるいは壁の振動エネルギーとして散逸する。したがって、力学的エネルギーは衝突前後で保存されない。
問6	答え 1 $x = L - (\rho \cdot S \cdot L + m) / (\rho_0 \cdot S)$	静止しているとき、浮きとおもりに働く重力の和 $(\rho \cdot S \cdot L \cdot g + m \cdot g)$ と、浮力 $(\rho_0 \cdot S \cdot (L - x) \cdot g)$ がつり合っている。この式から g を消去し、 $\rho_0 \cdot S \cdot (L - x) = \rho \cdot S \cdot L + m$ を導く。これを x について解くと、 $L - x = (\rho \cdot S \cdot L + m) / (\rho_0 \cdot S)$ となり、 $x = L - (\rho \cdot S \cdot L + m) / (\rho_0 \cdot S)$ が得られる。
問7	答え 4 $(\sqrt{3}/2) \cdot m$	棒のちょうつがいを回転軸として力のモーメントのつり合いを考える。重力 mg は棒の中心 $(L/2)$ に作用し、そのモーメントの大きさは $(L/2) \cdot mg \cdot \cos 30^\circ$ である。水平な糸の張力 T は棒の先端 (L) に作用し、そのモーメントの大きさは $L \cdot T \cdot \sin 30^\circ$ である。これらがつり合うため、 $(L/2) \cdot mg \cdot \cos 30^\circ = L \cdot T \cdot \sin 30^\circ$ が成り立つ。 $T = Mg$ を代入して整理すると、 $M = (\sqrt{3}/2) \cdot m$ となる。
問8	答え 2 二分の一 $m v_0$ の二乗 $(1 - e$ の二乗)	衝突前の運動エネルギーは二分の一 $m v_0$ の二乗である。衝突後の速度は反発係数 e を用いて ev_0 となるため、衝突後の運動エネルギーは二分の一 $m (ev_0)$ の二乗、すなわち二分の一 $m e$ の二乗 v_0 の二乗となる。失われたエネルギーは衝突前後の運動エネルギーの差であり、二分の一 $m v_0$ の二乗から二分の一 $m e$ の二乗 v_0 の二乗を引くことで、二分の一 $m v_0$ の二乗 $(1 - e$ の二乗) が導かれる。
問9	答え 1 鉛直下向き	物体が空気中を運動する際、空気抵抗は常に物体の運動方向とは逆向きに働きます。小球が鉛直上向きに運動しているとき、その運動を妨げる向きである鉛直下向きに空気抵抗が作用します。なお、重力も鉛直下向きに働くため、上昇中は重力と空気抵抗の両方が下向きに作用し、小球は減速します。

問1 高さ h から自由落下する小球Aと、床から鉛直投げ上げられた小球Bが同時に床に到達する状況を考える。小球Bの最高点の高さが h であるとき、床到達時の小球Aと小球Bの運動エネルギーの比較として正しいものはどれか。（2023年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| 1. 小球Aの運動エネルギーの方が大きい | 2. 小球Aと小球Bの運動エネルギーは等しい | 3. 小球Bの運動エネルギーの方が大きい | 4. 小球の質量が不明であるため比較できない |
|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|

問2 鉛直上向きに加速度 a で上昇するエレベーターの内部において、質量 M の物体がばね定数 k のばねに吊るされて静止している。このとき、ばねの伸び x を表す式として正しいものはどれか。ただし、重力加速度を g とする。（2017年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|----------------|-----------|---------------|---------------|
| 1. $2M(g+a)/k$ | 2. Mg/k | 3. $M(g-a)/k$ | 4. $M(g+a)/k$ |
|----------------|-----------|---------------|---------------|

問3 重力による位置エネルギーに関する記述として最も適切なものはどれか。（2004年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1. 位置エネルギーは物体の速度の2乗に比例する。 | 2. 位置エネルギーは物体の質量に関わらず常に一定である。 | 3. 位置エネルギーは基準面からの高さに比例する。 | 4. 位置エネルギーは重力加速度の大きさに反比例する。 |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|

問4 運動方程式に関する記述として最も適切なものはどれか。（2021年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| 1. 物体の加速度は、物体にはたらく合力に比例し、質量に反比例する。 | 2. 物体の加速度は、物体にはたらく合力に反比例し、質量に比例する。 | 3. 物体の加速度は、物体にはたらく合力と質量に依存せず常に一定である。 | 4. 物体にはたらく合力がゼロのとき、物体は必ず静止し続ける。 |
|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|

問5 密度が $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ である水が、断面積 $2.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ のノズルから速度 20 m/s で噴出しているとき、このペットボトルロケットの質量流量は何 kg/s か。（2024年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1. 0.4 kg/s | 2. 2.0 kg/s | 3. 4.0 kg/s | 4. 0.2 kg/s |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|

問6 質量 m のおもりが一端を固定された糸で吊るされ、水平方向に一定の加速度 a で運動している。このとき、糸が鉛直方向となす角度を θ 、重力加速度を g とすると、加速度 a とこれらの物理量の関係として正しいものはどれか。（2009年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 1. $a = g \cdot \sin(\theta)$ | 2. $a = g \cdot \tan(\theta)$ | 3. $a = g \cdot \cos(\theta)$ | 4. $a = g / \tan(\theta)$ |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|

問7 剛体が回転運動をせず静止しているとき、任意の点を支点とした力のモーメントの和について正しい記述はどれか。（2010年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 1. 力のモーメントの和は物体の質量に比例する。 | 2. 力のモーメントの和は重力の大きさに依存する。 | 3. 力のモーメントの和は支点の位置によって変化する。 | 4. 力のモーメントの和は常にゼロになる。 |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|

問8 水平でなめらかな床面上において、質量 m の小物体Aが速さ v で運動し、静止していた質量 $3m$ の小物体Bと衝突して合体し、質量 $4m$ の小物体Cとなった。このとき、衝突後の小物体Cの速さ V として正しいものはどれか。（2020年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|----------|----------|--------|---------|
| 1. $v/4$ | 2. $v/2$ | 3. v | 4. $2v$ |
|----------|----------|--------|---------|

問9 等速直線運動をしている2つの物体において、相対速度が常に一定となる理由として、最も適切なものはどれか。（2022年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|
| 1. 両者の速度が常に同じ向きを向いているため | 2. 両者の速度の差が時間とともに変化しないため | 3. 両者の加速度がともにゼロではないため | 4. 両者の位置関係が常に変化しないため |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|

問10 天井から吊り下げられた自然の長さ h の軽いゴムひもの下端に、質量 m の小球を取り付ける。小球を天井と同じ高さで静かに放したところ、小球は鉛直下向きに落下し、最下点 z_0 ($z_0 < h$) に達した。この間、ゴムひものはフックの法則に従うものとし、その比例定数を k とする。重力加速度の大きさを g とし、空気抵抗やゴムひもの質量は無視できるものとする。力学的エネルギー保存の法則を用いて、比例定数 k を表す式として正しいものを、次のうちから一つ選べ。ただし、重力による位置エネルギーの基準は最下点 z_0 とする。（2008年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| 1. $2mg / (h - z_0)^2$ | 2. $mg / (h - z_0)$ | 3. $2mg / (h - z_0)$ | 4. $mg / (h - z_0)^2$ |
|------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|

答え合わせ・解説 No.5

問1	答え 2 小球Aと小球Bの運動エネルギーは等しい	力学的エネルギー保存の法則によれば、床到達時の運動エネルギーは、落下開始時または投げ上げ時の力学的エネルギーに等しい。小球Aは高さhでの位置エネルギーを持ち、小球Bは最高点hに達する初速度を持つ。両者の力学的エネルギーの総量は等しいため、床到達時の運動エネルギーも等しくなる。
問2	答え 4 $M(g+a)/k$	エレベーターと共に運動する観測者から見ると、物体には重力Mgのほかに、運動方向と逆向きに慣性力Maが働く。物体が静止しているとき、ばねの弾性力kxは、重力と慣性力の合力と釣り合う。したがって、 $kx = Mg + Ma = M(g+a)$ という関係式が成立し、これをxについて解くと $x = M(g+a)/k$ となる。慣性力は加速度運動をする系において現れる見かけの力であり、運動方程式を立てる際に重要となる。
問3	答え 3 位置エネルギーは基準面からの高さに比例する。	重力による位置エネルギーは、物体が基準面からどれだけ高い位置にあるかを示す指標であり、式 $U=mgh$ から明らかなように、質量m、重力加速度g、高さhの積で定義される。したがって、質量と重力加速度が一定であれば、位置エネルギーは高さhに比例する関係にある。
問4	答え 1 物体の加速度は、物体にはたらく合力に比例し、質量に反比例する。	運動方程式 $F = ma$ を変形すると $a = F/m$ となる。この式から、加速度aは合力Fに比例し、質量mに反比例することがわかる。合力がゼロのときは加速度もゼロとなるが、これは静止状態だけでなく、等速直線運動を続ける状態も含まれるため、静止し続けるとは限らない。
問5	答え 3 4.0 kg/s	質量流量は密度 ρ 、断面積A、噴出速度uの積 (ρAu) で求められる。与えられた数値を代入すると、 $(1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) \times (2.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \times (20 \text{ m/s}) = 4.0 \text{ kg/s}$ となる。単位の整合性を確認すると、 $(\text{kg/m}^3) \times \text{m}^2 \times (\text{m/s}) = \text{kg/s}$ となり、質量流量の単位と一致する。
問6	答え 2 $a = g * \tan(\theta)$	おもりとともに運動する観測者から見ると、おもりには重力mg、糸の張力T、および水平方向に慣性力maが働いて静止している。鉛直方向の力のつり合いから $T * \cos(\theta) = mg$ 、水平方向の力のつり合いから $T * \sin(\theta) = ma$ が成り立つ。これら2式の比をとると、 $\tan(\theta) = a / g$ となり、整理すると $a = g * \tan(\theta)$ が導かれる。
問7	答え 4 力のモーメントの和は常にゼロになる。	剛体が静止しているとき、並進運動のつり合いだけでなく、回転運動のつり合いも成立しています。回転運動のつり合い条件とは、任意の点を支点とした力のモーメントの総和がゼロになることです。これは剛体上のどの点を支点に選んでも成立する物理的な法則であり、静止状態を維持するための必要十分条件です。
問8	答え 1 $v/4$	衝突前後で外力が働かないため、運動量の総和は保存される。衝突前の運動量は小物体Aの質量mと速さvの積 (mv) であり、衝突後の運動量は合体した小物体Cの質量4mと速さVの積 ($4mV$) である。これらを等式で結ぶと $mv = 4mV$ となり、合体後の速さVは $v/4$ と求められる。運動量保存の法則は、物体系に働く外力の和がゼロである場合に成立する重要な物理法則である。
問9	答え 2 両者の速度の差が時間とともに変化しないため	等速直線運動では、物体の速度ベクトルは時間的に変化しない。相対速度は相手の速度ベクトルから自分の速度ベクトルを引いたものであり、両者の速度が一定であれば、その差である相対速度もまた時間的に変化せず一定となる。これはガリレイ変換における慣性系の性質に基づいている。
問10	答え 3 $2mg / (h - z_0)$	最下点 z_0 を基準とすると、小球を放した高さhでの力学的エネルギーは重力による位置エネルギー $mg(h - z_0)$ である。最下点 z_0 では、小球の速度は0であり、ゴムひもの伸びは $h - z_0$ となるため、弾性エネルギーは $1/2 * k * (h - z_0)^2$ となる。力学的エネルギー保存の法則より、これらを等置してkについて解くと、 $k = 2mg / (h - z_0)$ が得られる。