کار و توان

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ کار الکتریکی را با ذکر رابطه شرح دهد.

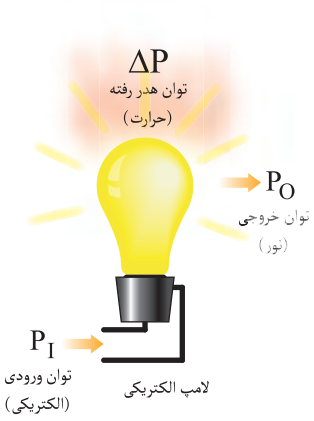
۲ــ توان الکتریکی را با ذکر روابط شرح دهد.

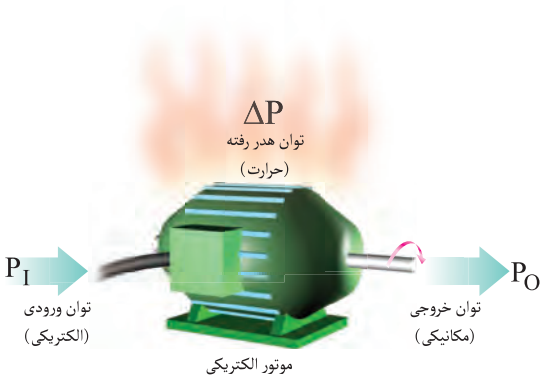
۳ــ ضریب بهره (راندمان) را با ذکر رابطه توضیح دهد.

۴ــ ارتباط انرژی الکتریکی با گرما را شرح دهد.

تلفات توان — توان ورودی — توان خروجی

$$\Delta P = P_1 - P_2$$





سیمای فصل ۳

ـ کار الکتریکی
ـ توان الکتریکی
ـ ضریب بهره (راندمان)
ـ ارتباط انرژی الکتریکی با حرارت

آشنایی با دانشمندان

وات

(Watt, James/ ۱۷۳۶ــ۱۸۱۹)

وات در اسکاتلند به دنیا آمد و در بیرمنگام چشم از جهان فروبست. او از کودکی رنجور بود و زندگی‌اش با فقر و تهی‌دستی قرین بود. او در لندن با سختی تمام یک سالی را به کارآموزی گذرانید و با ابزار و اسباب مکانیکی آشنا شد. با بازگشت به اسکاتلند او در دانشگاه گلاسکو شغلی به دست آورد و همان‌جا بود که توانست برای اصلاح و تکمیل ماشین بخار راه‌حلی به‌دست آورد. وات ماشین بخار خود را که بازده و سرعت عمل بیش‌تری داشت در سال ۱۷۶۹ عرضه کرد. چند سال بعد ۵۰۰ دستگاه از ماشین‌های وات در سراسر انگلستان مشغول به کار بود. نتایج حاصل از ماشین بخار وات بیرون از حساب بود. با در دست داشتن ماشین‌های بخار که با زغال‌سنگ به کار می‌افتاد حرکت چرخ‌های عظیم صنایع در هرنقطه آماده بود و دیگر لزومی نداشت که کارخانه‌ها برای گرداندن موتور از نیروی سقوط آب استفاده کنند و در واقع انقلاب صنعتی آغاز شده بود. دستگاه گریز از مرکز تنظیم بخار نیز از اختراعات او است. واحد توان به احترام او وات نامیده می‌شود.

۳ــ کار و توان

۱ــ۳ــ کار الکتریکی

در مباحث الکتریسیته کار الکتریکی بر پایهٔ پارامترهای الکتریکی ولتاژ، جریان و زمان به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

هرگاه ولتاژی در یک مدار بار الکتریکی را جابه‌جا کند گفته می‌شود «کار الکتریکی» انجام داده است. اصطلاحاً به کار الکتریکی «انرژی الکتریکی» نیز گفته می‌شود و مقدار آن از رابطهٔ (۱) محاسبه می‌گردد.

$$\left.\begin{array}{l} W = V.q \\ q = It \\ W = V.I.t \end{array}\right\} \quad (۱)$$

q ــ بار الکتریکی برحسب کولن [C]

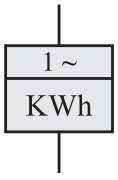
V ــ اختلاف پتانسیل برحسب ولت [v]

I ــ شدت جریان برحسب آمپر [A]

t ــ مدت زمان مصرف برحسب ثانیه [s]

W ــ کار (انرژی) الکتریکی برحسب وات. ثانیه یا ژول [j][1]

وسیله‌ای که برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی به‌کار می‌رود «کنتور» نام دارد. شکل ۱ــ۳ علامت اختصاری کنتور را نشان می‌دهد.



شکل ۱ــ۳

۲ــ۳ــ توان الکتریکی

طبق تعریف به مقدار کار انجام شده در واحد زمان «توان» یا «قدرت[2]» گفته می‌شود که مقدار آن‌را مطابق رابطهٔ (۲) می‌توان به‌دست آورد.

$$P = \frac{W}{t} \quad (۲)$$

W ــ مقدار کار انجام شده برحسب ژول [j]

t ــ مدت زمان انجام کار برحسب ثانیه [s]

P ــ توان (قدرت) برحسب ژول بر ثانیه یا وات [W]

$$P = \frac{W}{t} = \frac{V.I.\not{t}}{\not{t}}$$

$$P = V.I \quad (۳)$$

اگر به جای کار انجام شده (W) معادل آن‌را قرار دهیم رابطهٔ دیگری از توان که با کمیّت‌های الکتریکی ارتباط دارد، به‌صورت رابطهٔ (۳) به‌دست می‌آید. هرگاه با بهره‌گیری از قانون اهم به جای V در رابطهٔ (۲) معادل آن را قرار دهیم شکل دیگری از رابطهٔ توان به‌صورت رابطهٔ(۴) نتیجه می‌شود.

$V=R.I$ (قانون اهم)

$P=(R.I).I$

$$P = R.I^2 \quad (۴)$$

برای حل مسائل مربوط به توان لازم است به اطلاعات داده شده توجه کرد و براساس آن یکی از روابط توان را به‌کار برد.

توان را با واحد دیگری به نام «اسب بخار ــ hp[3]» نیز می‌سنجند که معادل ۷۳۶ وات است.

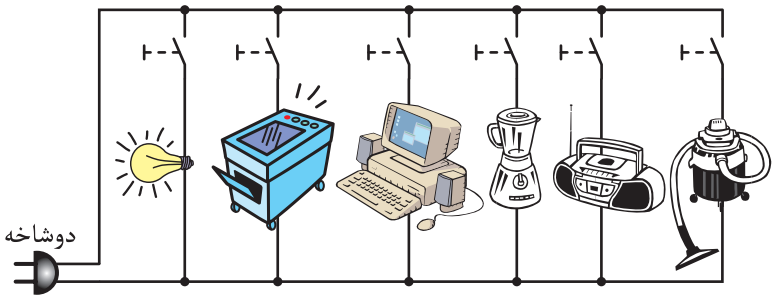
$$1hp = 736\,w$$

از وسیله‌ای به نام وات‌متر برای اندازه‌گیری توان در مدارهای الکتریکی استفاده می‌شود.

تذکر : هرگاه (مطابق شکل ۲ــ۳) در یک مدار الکتریکی از چند وسیله به‌صورت همزمان استفاده شود، برای

۱ــ اصطلاحاً به حاصل‌ضرب کولن در ولت نیز ژول گفته می‌شود.

۲ــ Power ۳ــ hp-horse Power



شکل ۲ــ۳

محاسبهٔ توان کل مدار باید حاصل جمع توان‌های تک‌تک وسایل را براساس رابطهٔ (۵) به‌دست آورد.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_n \quad (۵)$$

در این رابطه :

$P_1, P_2, P_3, \cdots, P_n$ = توان هریک ازوسایل برحسب وات [W]

P_T = توان کل برحسب وات [W]

با کمی دقت در رابطهٔ (۲) می‌توان نتیجه گرفت که برای محاسبهٔ انرژی الکتریکی مصرفی دستگاه‌ها یا مدار می‌توان از رابطهٔ (۶) نیز استفاده کرد.

$$W = P.t \quad (۶)$$

در این رابطه :

P– توان دستگاه (دستگاه‌ها) برحسب کیلووات

t– زمان برحسب ساعت

W– انرژی الکتریکی برحسب کیلووات ساعت

اگر توان بر حسب وات و زمان بر حسب ثانیه باشد انرژی مصرفی بر حسب ژول محاسبه می‌شود.

مثال : مقدار جریان و انرژی مصرفی یک موتور الکتریکی (شکل ۳ــ۳) با قدرت $\frac{۱}{۲}$ hp را که در شبکهٔ ۲۲۰ ولتی به مدت ۵۰ دقیقه کار می‌کند، حساب کنید.

حل :

$$P = \frac{۱}{۲} \times ۷۳۶ = ۳۶۸W$$

$$P = V.I \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{۳۶۸}{۲۲۰} = ۱/۶۷ \ [A]$$

$$t = ۵۰ \Rightarrow t = ۵۰ \times ۶۰ = ۳۰۰۰[s]$$

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P.t = ۳۶۸ \times ۳۰۰۰$$

$$= ۱۱۰۴۰۰۰[j] = ۱۱۰۴[kj]$$

شکل ۳ــ۳ــ موتور الکتریکی

تذکر : ادارهٔ برق برای محاسبهٔ انرژی الکتریکی از واحد kwh استفاده می‌کنند، یعنی مقدار توان مصرفی را که همان حاصل‌ضرب ولتاژ در جریان است برحسب کیلووات و زمان را برحسب ساعت در نظر می‌گیرند. درنتیجه از ضرب آن‌ها واحد کیلووات ساعت برای انرژی الکتریکی در نظر گرفته می‌شود (شکل ۴ــ۳).

$$W = V \cdot I \cdot t$$
$$W = P \cdot t$$
$$[KWh] = [KW] \cdot [h]$$

شکل ۴ـ۳

مثال : مقدار انرژی الکتریکی (کار الکتریکی) یک موتور ۵ کیلوواتی که در هر روز حدود ۴ ساعت کار می‌کند چه‌قدر است؟

حل :

$$W = P.t = ۵ \times ۴ = ۲۰ kwh$$

مثال : یک آب‌گرم‌کن الکتریکی ۶۰ لیتری (مانند شکل ۵ـ۳) در مدت ۳ ساعت آب را گرم می‌کند. درصورتی‌که توان المنت آب‌گرم‌کن ۲۰۰۰ وات باشد انرژی مصرفی چند کیلووات ساعت است؟ انرژی مصرفی هر لیتر آب گرم را حساب کنید.

حل :

$$W = p.t$$

$W = ۲kw \times ۳h = ۶kwh$ انرژی الکتریکی کل

انرژی الکتریکی برای هر لیتر

$$W' = \frac{W}{۶۰} = \frac{۶}{۶۰} = ۰/۱ kwh$$

شکل ۵ـ۳

مثال : در جدول زیر مقدار کار الکتریکی هریک از وسایل یک منزل مسکونی و هم‌چنین انرژی الکتریکی کل را به‌دست آورید.

وسیلهٔ الکتریکی	تعداد	توان هر وسیله (وات)	زمان کارکرد (ساعت)
لامپ	۱۵	۱۰۰	۵
یخچال	۱	۲۰۰	۱۰
جاروبرقی	۱	۱۲۰۰	۲
فریزر	۱	۳۰۰	۶

حل :

لامپ $۱۰۰W = \frac{۱۰۰}{۱۰۰۰} = ۰/۱ kw$

یخچال $۲۰۰W = \frac{۲۰۰}{۱۰۰۰} = ۰/۲ kw$

جارو برقی $۱۲۰۰W = \frac{۱۲۰۰W}{۱۰۰۰} = ۱/۲ kw$

فریزر $۳۰۰W = \frac{۳۰۰}{۱۰۰۰} = ۰/۳ kw$

$W = P.t$

انرژی لامپ‌ها $W_۱ = (۱۵ \times ۰/۱) \times ۵ = ۷/۵ kwh$

انرژی یخچال $W_۲ = ۰/۲ \times ۱۰ = ۲ kwh$

انرژی جاروبرقی $W_۳ = ۱/۲ \times ۲ = ۲/۴ kwh$

انرژی فریزر $W_۴ = ۰/۳ \times ۶ = ۱/۸ kwh$

انرژی کل $W_T = W_۱ + W_۲ + W_۳ + W_۴$

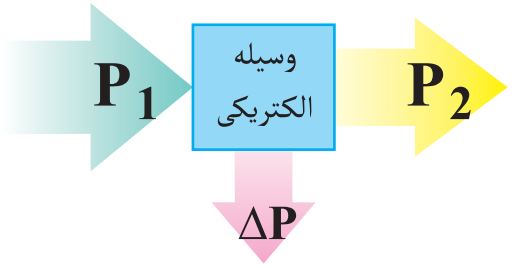
$W_T = ۷/۵ + ۲ + ۲/۴ + ۱/۸$

$W_T = ۱۳/۷ kwh$

۳ـ۳ـ ضریب بهره (راندمان)

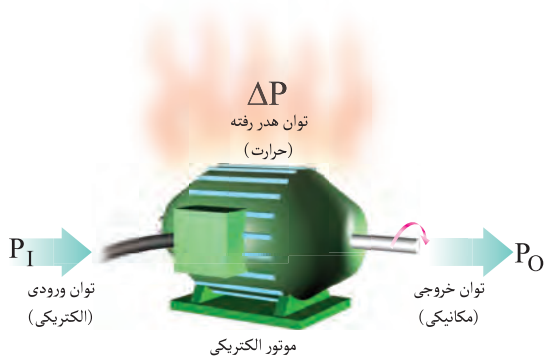
به‌طور کلی در همه دستگاه‌ها و در شرایط واقعی مقدار کاری که انجام می‌دهند با مقدار انرژی الکتریکی که از شبکه دریافت می‌کنند برابر نیست. به عبارت دیگر مقدار «توان خروجی $P_۲$ به اندازهٔ توان ورودی $P_۱$ » نیست و همیشه مقدار $P_۲$ از $P_۱$ کم‌تر است. چرا که بخشی از توان به‌صورت‌های حرارت، اصطکاک

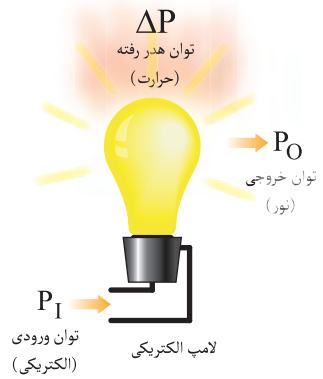
و... هدر می‌رود (شکل۶ـ۳). از رابطهٔ (۱۰) می‌توان مقدار «توان هدررفته» یا «تلفات توان» را محاسبه کرد. ضمناً شکل (۷ـ۳) نمونه‌هایی از زمینه‌های هدررفتن بخشی از توان ورودی را نشان می‌دهد. اصطلاحاً به نسبت توان خروجی به توان ورودی هر وسیله «ضریب بهره» یا «راندمان» گفته می‌شود و مقدار آن مطابق رابطهٔ (۱۱) محاسبه و معمولاً برحسب درصد بیان می‌شود.



شکل ۶ـ۳

تلفات توان ΔP = توان ورودی P_1 − توان خروجی P_2 (۱۰)





شکل ۷ـ۳

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \qquad (11)$$

راندمان (حرف یونانی که اِتا خوانده می شود)

در اکثر موارد مقدار راندمان وسایل الکتریکی روی بدنهٔ آن‌ها نوشته نمی‌شود. درصورتی‌که بخواهیم مقدار آن‌را به‌دست آوریم باید توان نوشته شده روی پلاک مشخصات وسیلهٔ الکتریکی را که نشان‌دهندهٔ توان خروجی (P_2) است،به همراه ولتاژ کار (V) و جریان مورد نیاز قرائت کنیم و مقدار P_1 را که از حاصل‌ضرب V در I به‌دست می‌آید، محاسبه نماییم و سپس مقدار راندمان را به‌دست آوریم.

مرحله I)
قرائت مقادیر P_2 و V و I از روی پلاک مشخصات

مرحله II)
محاسبهٔ توان ورودی $P_1 = V.I$

مرحله III)
محاسبهٔ راندمان $\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100$

مثال : هرگاه توان حرارتی برای تولید بخار نیروگاه (شکل ۸ـ۳) معادل ۲MW و مقدار انرژی الکتریکی خروجی از نیروگاه ۰/۸ MW باشد، ضریب بهرهٔ (راندمان) این نیروگاه چند درصد و مقدار تلفات چند مگاوات است؟

حل :

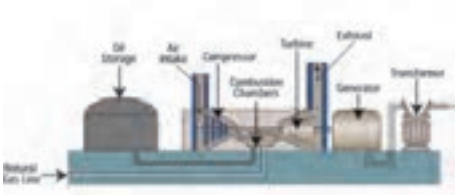
راندمان $\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100$

$\eta = \frac{0/8}{2} \times 100$

$\eta = \%40$

تلفات $\Delta P = P_1 - P_2$

$\Delta P = 2 - 0/8 = 1/2 MW$



شکل ۸ــ۳

۴ــ۳ــ ارتباط انرژی الکتریکی با گرما

جیمز ژول فیزیک‌دان انگلیسی نخستین کسی بود که رابطهٔ میان گرما و کار را مطالعه کرد. ژول در مطالعهٔ اثر گرمایی جریان الکتریسیته نیز پیش‌گام بود. او بر پایهٔ نتایج تجربی حاصل و فرمول‌بندی این نتایج، قانون موسوم به قانون ژول را چنین بیان کرد :

گرمای حاصل از عبور جریان در یک رسانا با مقدار مقاومت رسانا، مجذور شدت جریان و زمان عبور جریان نسبت مستقیم دارد.

$$W = P.t = R.I^2.t$$

در مقاومت تمام کار انجام شده توسط جریان به گرما تبدیل می‌شود. پس انرژی الکتریکی مصرف‌شده با مقدار گرما برابر است؛ یعنی :

$$\boxed{W = Q}$$

که در آن W انرژی الکتریکی برحسب ژول [j] ؛ Q مقدار گرمای تولیدشده برحسب ژول است.

برای اندازه‌گیری گرما از واحد دیگری به نام کالری استفاده می‌شده که امروزه نیز استفادهٔ ازآن متداول است. یک کالری برابر ۴/۱۸ ژول است.

$$1[cal] = 4/18[j]$$

$$1[j] = \frac{1}{4/18} cal = 0/24 cal$$

مثال : بر روی یک بخاری برقی (شکل ۹ــ۳) توان به‌صورت $P = 2000W$ نوشته شده، مطلوب است.

شکل ۹ــ۳

الف) انرژی الکتریکی مصرفی بخاری طی یک ساعت کار روزانه

ب) محاسبهٔ هزینهٔ برق مصرفی در یک ماه (۳۰ روز) اگر قیمت هر کیلووات ۱۰۰۰ ریال باشد.

ج) مقدار حرارت ایجاد شده در اطراف بخاری طی یک ساعت کار برحسب کالری و کیلوکالری

حل :

الف) $W = P.t$

$W = 2kw \times 1h = 2kwh$

ب) هزینهٔ برق = $1000 \times 2 \times 30 = 60000$ ریال

ج) $W = P.t = 2000 \times 3600 = 7200000 j$

$W = 0/24 \times 7200000 = 1728000 cal$

$= 1728 kcal$

مثال : برای این‌که آب در سماور برقی (شکل ۱۰ــ۳) در مدت نیم ساعت به جوش آید نیاز به ۴۳۲۰۰۰ کالری گرما دارد.

درصورتی‌که گرمای لازم توسط یک گرم‌کن برقی با ولتاژ ۲۲۰ ولت تأمین شود توان مقاومت گرم‌کن و جریان مصرفی را حساب کنید.

شکل ۱۰ــ۳

حل :

$$1J = 0/24cal \Rightarrow cal = \frac{J}{0/24}$$

$$W = 432000cal = 432000 \times \frac{J}{0/24}$$

$$W = 1800000J$$

$$W = P.t \quad [\text{ژول}]$$

$$W = 0/24$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1800000}{30 \times 60} = 100[W]$$

$$P = V.I$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1000}{220} = 4/54A$$

$$V = R.I \Rightarrow R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{220}{4/54} = 48/5\Omega$$

پرسش‌های فصل سوم

◄پرسش‌های چهار گزینه‌ای

۱ــ کدام وسیله برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی استفاده می‌شود؟

الف) وات‌متر　　ب) کنتور　　ج) نیروسنج　　د) ولت‌متر

۲ــ ژول معادل کدام یک از واحدهای زیر است :

الف) وات ثانیه　　ب) کیلووات ساعت　　ج) اسب بخار　　د) کالری

۳ــ توان خروجی یک الکتروموتور دی سی (DC) با مشخصات پلاک نشان داده شده در شکل ۱۱ــ۳ چند وات است؟

پلاک موتور

U = ۲۲۰V
I = ۵A
η = %۹۰

شکل ۱۱ــ۳

الف) ۹۹۰　　ب) ۱۱۵۰　　ج) ۴۴　　د) ۱۲۲۲/۲

۴ــ راندمان منبع تغذیه‌ای با قدرت دریافتی ۰/۶ W و توان خروجی معادل ۰/۵W چند درصد است؟

الف) ٪۵۰/۵　　ب) ٪۸۳/۳　　ج) ٪۶۰/۲　　د) ٪۴۵/۱

◄پرسش‌های پرکردنی

۵ــ نوعی انرژی که دراثر عبور جریان الکتریکی در سیم هدر می‌رود ..... نام دارد.

۶ــ برای اندازه‌گیری توان مصرفی در مدارهای الکتریکی از وسیله‌ای به نام ..... استفاده می‌شود.

۷ــ هرچه توان مصرف‌کننده بیش‌تر باشد مقدار جریان دریافتی آن ازشبکه ..... است.

◄پرسش‌های درست و نادرست

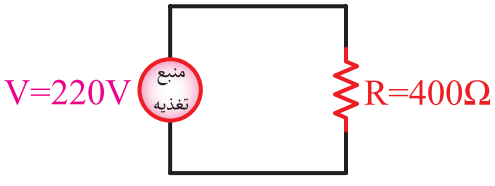
۸ــ مبنای محاسبهٔ برق مصرفی برحسب کیلووات ساعت است.　　درست ☐　نادرست ☐

۹ــ برای بیان میزان کارآیی هر وسیله از اصطلاح توان خروجی استفاده می‌شود.　　درست ☐　نادرست ☐

◄پرسش‌های تشریحی (مسائل)

۱۰ــ در مدار شکل ۱۲ــ۳ اگر R نشان‌دهندهٔ مقاومت المنت یک سماور برقی باشد، این مقاومت در مدت زمان ۱۰ دقیقه چند کالری گرما تولید می‌کند؟

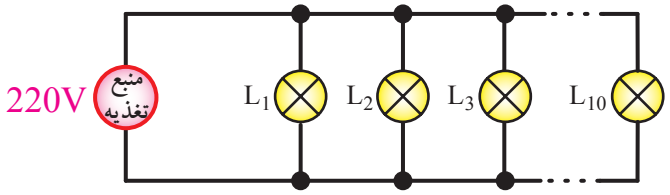
پاسخ : ۱۷۳۶۸/۴ کالری



شکل ۱۲ــ۳

۱۱ــ اگر ده لامپ ۱۰۰ واتی (مطابق شکل ۱۳ــ۳) به مدت دو ساعت روشن باشد هزینهٔ برق مصرفی آن‌ها چه‌قدر است؟ درصورتی که بهای هر کیلووات ساعت ۱۰۰۰ ریال در نظر گرفته شود.

پاسخ : ۲۰۰۰ ریال



شکل ۱۳ــ۳

۱۲ــ مقدار انرژی مصرفی در یک لامپ ۱۰۰ وات را در مدت ۲ ساعت برحسب ژول حساب کنید. پاسخ : ۷۲۰۰۰۰

۱۳ــ شدت جریان مصرفی یک لامپ ۱۰۰ وات در شبکهٔ ۲۲۰ ولتی را به‌دست آورید. پاسخ : ۰/۴۵ آمپر

۱۴ــ توان الکتروموتور یخچال خانگی $\frac{۱}{۶}$ اسب بخار است. توان آن را برحسب وات به‌دست آورید.

۱۵ــ بر روی گرم‌کن برقی (هیتر) یک سماور برقی عدد ۱۰۰۰W نوشته شده است. اگر سماور گنجایش ۵ لیتر آب را داشته باشد، زمان لازم برای جوشیدن آب چند دقیقه است؟ (دمای اوّلیهٔ آب را ۱۵ درجه سانتی‌گراد فرض نمایید).

پاسخ : ۲۹/۷۵دقیقه

گرمای ویژه آب $C = ۴۱۸۶ \frac{J}{kg.^\circ C}$

جرم حجمی آب $\rho = ۱ \frac{kg}{Lit}$