

NTS2: Natur, Technik, Systeme

Test 1, April 2015

Zweites Semester WI14

Erlaubte Hilfsmittel: **Bücher, persönlich verfasstes Journal und Zusammenfassung.** Rechen- und Schreibzeugs.

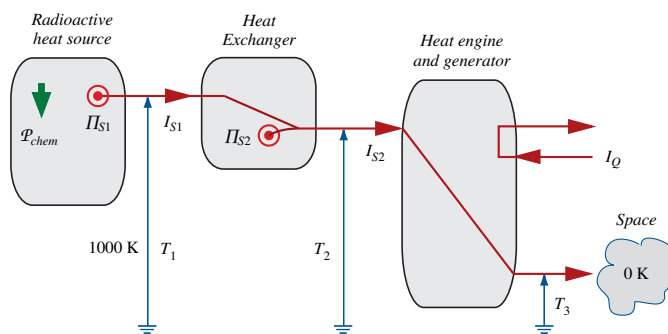
Antworten müssen begründet und nachvollziehbar sein.

Dauer der Prüfung: 60 Minuten.

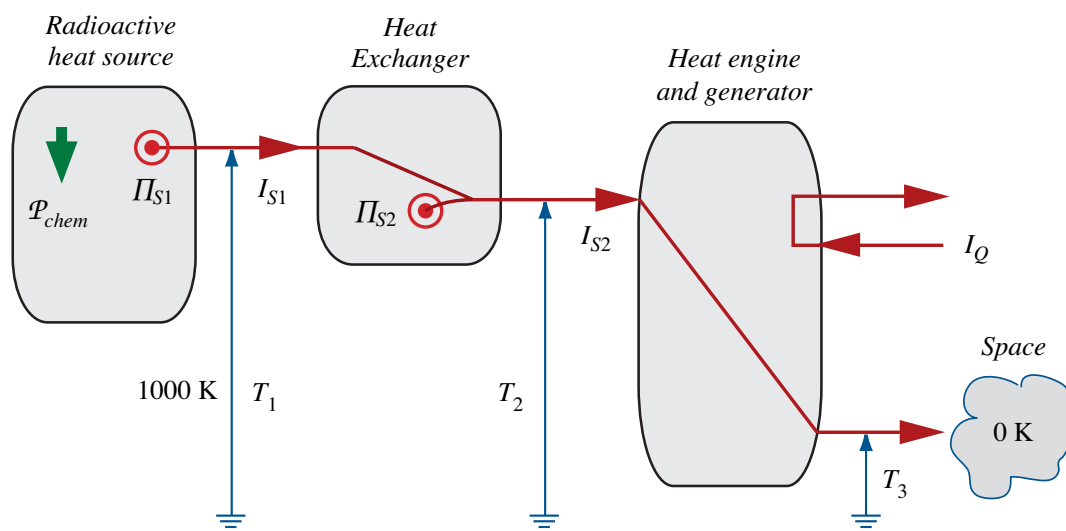
Elektrische Energieversorgung in Raumschiffen

Für Weltraummissionen weit weg von der Sonne benutzt man heute für die elektrische Energieversorgung Aggregate aus einer radioaktiven Wärmequelle (die sehr lange gleiche Leistung hat) und einer Wärmekraftmaschine (zum Beispiel thermoelektrische Elemente oder Sterling Heissluft-Maschinen mit Generator). Die im System erzeugte Entropie wird am Schluss von einer Radiatorfläche an der Oberfläche des Raumfahrzeugs in den Weltraum gestrahlt. (Der Weltraum ist leer und hat eine Temperatur nahe 0 K.)

Betrachten Sie ein Modell eines Aggregates aus radioaktiver Wärmequelle, Wärmetauscher zwischen Wärmequelle und Wärmekraftmaschine, idealer Wärmekraftmaschine (endoreversible Maschine) und idealem Strahler (Schwarzkörper-Strahler) wie in der Figur. Das Modell wird strikt im *stationären* Betrieb betrachtet.



- Fügen Sie der Figur unten auf diesem Blatt sämtliche Energieströme und die Leistungen in der endoreversiblen Wärmekraftmaschine mit Generator hinzu. Formulieren Sie alle Beziehungen, die in unserem Modell zwischen den Energieströmen und den Leistungen bestehen. [2 P.]
- Die chemische Leistung des radioaktiven Zerfalls in der Wärmequelle beträgt konstant 1000 W. Die Temperatur der Wärmequelle ist 1000 K. Bestimmen Sie die Entropieproduktionsrate in der Wärmequelle und den Entropiestrom an den Wärmetauscher. [2 P.]
- Bestimmen Sie die Entropieproduktionsrate im Wärmetauscher, den Entropiestrom aus dem Wärmetauscher und die Temperatur T_2 . Der Entropieleitwert des Wärmetauschers beträgt 0.0020 W/K^2 . [3 P.]
- Die Abstrahlung der Entropie aus der Maschine geht von einer schwarzen Oberfläche (idealer Strahler) von 1.0 m^2 weg (an den Weltraum, dessen Temperatur wir einen Wert von 0 K geben). Bestimmen Sie die Temperatur T_3 und die elektrische Leistung der Maschine. [3 P.]
- [Zusatzaufgabe.] Wenn man den Wärmetauscher nach der Wärmequelle weglassen könnte (wenn die Übertragung der Entropie von der Wärmequelle an die Maschine ideal wäre), würde man das Maximum der elektrischen Leistung erhalten. Wie hoch ist dieses Maximum? [3 P.]



NTS2: Natural and Technical Systems

Test 1, April 2015

Second Semester WI14

Allowed tools: **Books. Personally written journal and summary.**
Calculators and writing materials.

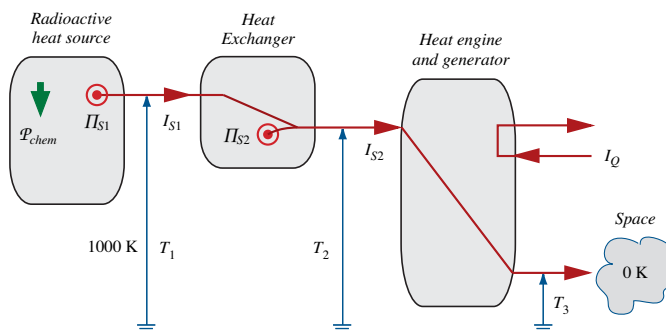
Answers must be explained and must be documented.

Duration of the exam: 60 minutes.

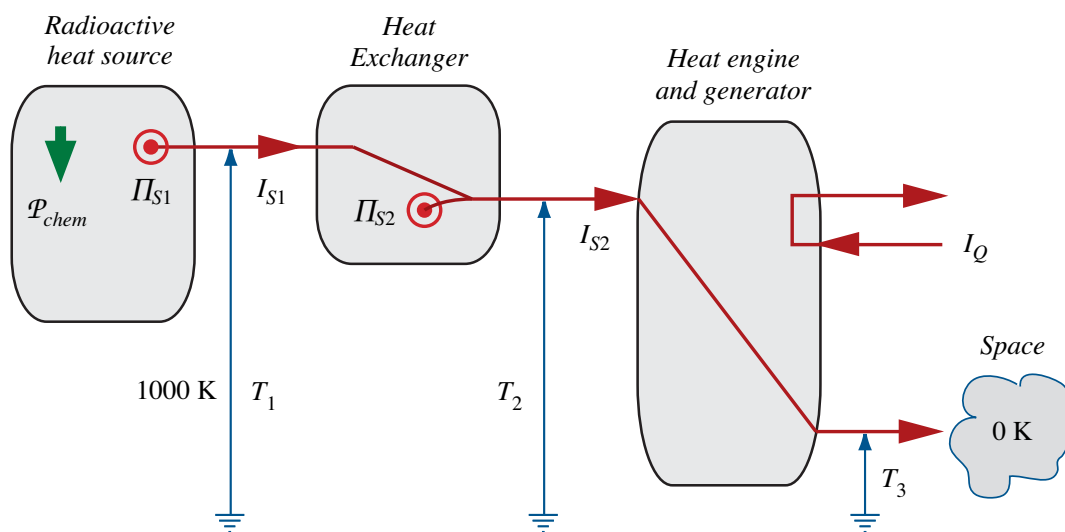
Electric power for spacecraft

For deep space missions far from the sun, electric power plants having a radioactive heat source (whose power is constant over very long time) and a heat engine (such as thermoelectric generators or Stirling engines with generators) are used today. The entropy produced in the system is radiated to outer space from a radiator at the surface of the spacecraft. (Space is empty and has a temperature of close to 0 K.)

Consider a model of an electric power supply having a radioactive heat source, a heat exchanger between heat source and heat engine, an ideal heat engine (endoreversible model), and an ideal radiator (black-body radiator) as in the figure below. The model is considered strictly in *steady-state*.

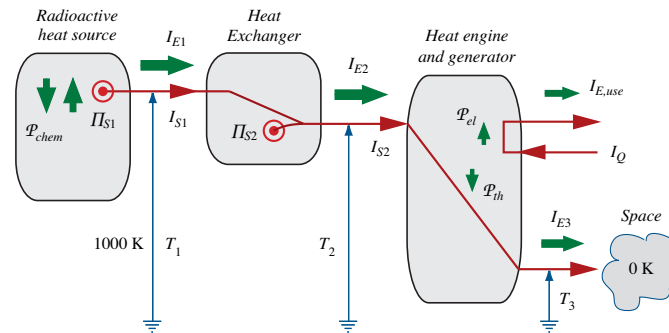


- Add all energy currents and symbols for power in the endoreversible heat engine and generator to the figure shown below on this page. Formulate all relations that exist between energy currents and power terms. [2 P.]
- The chemical power of the radioactive decay in the heat source is a constant 1000 W. The temperature of the heat source equals 1000 K. Determine the entropy production rate in the heat source and the entropy current going to the heat exchanger. [2 P.]
- Determine the entropy production rate in the heat exchanger, the entropy current leaving the heat exchanger, and the temperature T_2 . The entropy conductance of the heat exchanger equals 0.0020 W/K^2 . [3 P.]
- Entropy and energy are radiated from a black surface (ideal radiator having a surface area of 1.0 m^2) to space having a temperature of 0 K. Determine the temperature T_3 and the electric power of the engine. [3 P.]
- [Additional question.] If we were able to leave out the heat exchanger after the heat source, i.e., if heat transfer from the heat source to the engine were ideal, we would obtain the maximum possible electric power of the engine. How high is this maximal value? [3 P.]



Answers

a.



See the figure: $IE_1 = P_{chem}$. $IE_2 = IE_1$. $P_{th} = P_{el}$. $IE_{el} = P_{el}$. $IE_2 = IE_3 + IE_{el}$.

- b. $PiS_1 = 1000 \text{ W} / 1000 \text{ K} = 1.0 \text{ W/K}$. $IS_1 = PiS_1$.
- c. $IS_1 = GS * (T_1 - T_2)$: $T_2 = T_1 - IS_1/GS = 1000 \text{ K} - 1.0/0.002 \text{ K} = 500 \text{ K}$. $IS_2 = IE_2/T_2 = IE_1/T_2 = 1000 \text{ W} / 500 \text{ K} = 2.0 \text{ W/K}$. $PiS_2 = 1.0 \text{ W/K}$.
- d. $IS_3 = IS_2$. $IS_3 = IE_3/T_3$. $IE_3 = A * \sigma * T_3^4$: $IS_3 = A * \sigma * T_3^3$: $T_3 = (IS_3/(A * \sigma))^{1/3} = 328 \text{ K}$. $P_{el} = P_{th} = (T_2 - T_3) * IS_2 = 344 \text{ W}$.
- e. $IS_3 = 1.0 \text{ W/K}$. $T_3 = (IS_3/(A * \sigma))^{1/3} = 260.3 \text{ K}$. $P_{el} = (T_2 - T_3) * IS_3 = 740 \text{ W}$.