11

ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନ

(Thermodynamics)

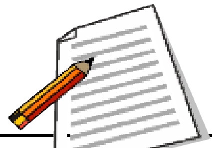
ସ୍ପର୍ଶରୁ ଥଣ୍ଡା ବା ଗରମ ଜାଣିବାରେ ତୁମେ ଅଭ୍ୟସ୍ତ । ଦୁଇ ହାତକୁ ଏକତ୍ର ଘଷିଲେ, ତୁମକୁ ଉଷୁମ ଲାଗେ । ତୁମେ ସ୍ୱୀକାର କରିବ ଯେ ଏ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗରମ ହେବାର କାରଣ ହେଉଛି ଯାନ୍ତ୍ରିକ କାର୍ଯ୍ୟ । ଏଥିରୁ ଜଣାପଡ଼େ ଯେ ଯାନ୍ତ୍ରିକ କାର୍ଯ୍ୟ ଏବଂ ତାପ ପ୍ରଭାବ ମଧ୍ୟରେ ଏକ ସଂପର୍କ ରହିଛି । ଭିନ୍ନ ତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ବସ୍ତୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ତାପ ଶକ୍ତି ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ହେଉଛି ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ବିଷୟବସ୍ତୁ, ଯାହାକି ଅଭିଜ୍ଞତା ଉପରେ ପର୍ଯ୍ୟବେସିତ ଏକ ପରିଘଟଣାତ୍ମକ (Phenomenological) ବିଜ୍ଞାନ । ତାପୀୟ ପରିଘଟଣାର ମାନାତ୍ମକ (quantitative) ବର୍ଣ୍ଣନା ନିମିତ୍ତ ତାପମାତ୍ରା, ତାପଶକ୍ତି ଏବଂ ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତିର ସଂଜ୍ଞା ଆବଶ୍ୟକ । ତାପ ପ୍ରବାହର ଦିଗ, ଏକ ତନ୍ତ୍ର ଦ୍ୱାରା ତନ୍ତ୍ର ଉପରେ ହୋଇଥବା କାର୍ଯ୍ୟର ପରିମାଣ ଏବଂ ତନ୍ତ୍ରର ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି (internal energy) ମଧ୍ୟରେ ସଂପର୍କ ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ନିୟମ ମାନରୁ ମିଳେ ।

ଏହି ଅଧ୍ୟାୟରେ ତୁମେ ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ତିନିଟି ନିୟମ ପଢ଼ିବ : ଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଶୂନତମ (Zeroth) ନିୟମ, ପ୍ରଥମ ନିୟମ ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ ।ଏହି ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ଅଭିଜ୍ଞତା ଉପରେ ପର୍ଯ୍ୟବେସିତ ଏବଂ ଏଥି ନିମିତ୍ତ କୌଣସି ପ୍ରମାଣର ଆବଶ୍ୟକତା ନାହିଁ । ଏଣୁ ଶୂନତମ, ପ୍ରଥମ ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମମାନ ଯଥାକ୍ରମେ ତାପମାତ୍ରା, ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି ଏବଂ ଏଣ୍ଟ୍ରୋପି (entropy) ର ଧାରଣା ସହିତ ପରିଚିତ କରାନ୍ତି । ପ୍ରଥମ ନିୟମ ମୁଖ୍ୟତଃ ତାପଗତିକ ସଂସ୍କାର ଶକ୍ତି ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ଏବଂ ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ ତାପରୁ କାର୍ଯ୍ୟ ଓ କାର୍ଯ୍ୟରୁ ତାପ ରୂପାନ୍ତର ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ । ତୁମେ ଆହୁରି ମଧ୍ୟ ଜାଣିବ ଯେ ତାପରୁ କାର୍ଯ୍ୟକୁ ରୂପାନ୍ତର ନିମିତ୍ତ କାର୍ନୋଟ ଇଂଜିନ୍‌ର ଦକ୍ଷତା ସର୍ବାଧିକ ।

ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ

ଏହି ପାଠର ଅଧ୍ୟୟନ ପରେ ତୁମେ:

- *ବିଭିନ୍ନ ତାପଗତିକ ପ୍ରକ୍ରମ (process) ପାଇଁ ସୂଚକ ଆରେଖ (indicator diagram) ଅଙ୍କନ କରିପାରିବ ଏବଂ ଦର୍ଶାଇ ପାରିବ ଯେ ସୂଚକ ଆରେଖର କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ଏହି ପ୍ରକ୍ରମରେ ହେଉଥିବା କାର୍ଯ୍ୟର ପରିମାଣ ନିରୂପଣ କରେ;*
- *ତାପଗତିକ ସନ୍ତୁଳନ ଏବଂ ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଶୂନତମ ନିୟମ ଉଲ୍ଲେଖ କରି ପାରିବ ;*
- *ଏକ ତନ୍ତ୍ରର ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତିର ଧାରଣା ବୁଝାଇ ପାରିବ ଏବଂ ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଥମ ନିୟମ ଉଲ୍ଲେଖ କରି ପାରିବ ;*
- *ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ପଥମ ନିୟମ ସରଳ ତନ୍ତ୍ରମାନଙ୍କରେ ପ୍ରୟୋଗ କରି ପାରିବ ଏବଂ ଏହାର ସୀମା ଉଲ୍ଲେଖ କରିପାରିବ ;*



ଟିପ୍ପଣୀ

- *ତ୍ରିତଃ ବିନ୍ଦୁ (triple point) ର ସଂଜ୍ଞା ଦେଇ ପାରିବ;*
- *ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମକୁ ବିଭିନ୍ନ ରୂପରେ ଉଲ୍ଲେଖ କରିପାରିବ ଏବଂ*
- *କାର୍ନୋଟ ଚକ୍ର ବର୍ଣ୍ଣନା କରି ପାରିବ ଏବଂ ଏହାର ଦକ୍ଷତା ହିସାବ କରିପାରିବ ।*

11.1 ତାପ ଓ ତାପମାତ୍ରାର ଧାରଣା

11.1.1 ତାପ

ମଣିଷ ଯେବେ ଗୁମ୍ଫାରେ ରହୁଥିଲା ସେହି କାଳରୁ ଆଜି ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ମନୁଷ୍ୟର ସମସ୍ତ କର୍ମ ଜୀବନରେ ଶକ୍ତିର ପରିବ୍ୟାପ୍ତତା ସୁସ୍ପଷ୍ଟ । ତାପ ରୂପରେ ଏହାର ପ୍ରକାଶ ଆମର ଅସ୍ତିତ୍ୱ ସହିତ ଓତପ୍ରୋତ ଭାବେ ଜଡ଼ିତ । ଯେଉଁ ଶକ୍ତି ଯୋଗୁଁ ଆମର ଖାଦ୍ୟ ରନ୍ଧନ ହୁଏ, ଆମର ଘର ଆଲୋକିତ ହୁଏ, ଟ୍ରେନ୍ ଏବଂ ଉଡ଼ାଜାହାଜ ଗତି କରେ, ସେହି ଶକ୍ତି, କାଠ, କୋଇଲା, ଗ୍ୟାସ ବା ତୈଳର ଜ୍ୱଳନରେ ନିର୍ଗତ ହୁଏ । ତୁମେ ପଚାରି ପାର, ତାପ କ'ଣ ? ଏହି ପ୍ରଶ୍ନର ଉତ୍ତର ପାଇବାକୁ ହେଲେ ବାଇସାଇକେଲ୍ ଚକ୍‌ରେ ପମ୍ପ ଦେଲା ବେଳେ କ'ଣ ହୁଏ ଦେଖାଯାଉ । ତୁମେ ନଜଲ୍ କୁ ସ୍ପର୍ଶ କଲେ ଦେଖିବ ଯେ ପମ୍ପ ଗରମ ହୋଇଯାଇଛି । ସେହପରି, ତୁମେ ଯଦି ଦୁଇ ହାତକୁ ଏକାଠି ଘଷିବ ତେବେ ଉଷ୍ମତା ଅନୁଭବ କରିବ । ତୁମେ ସ୍ୱୀକାର କରିବ ଏ ସମସ୍ତ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ତାପନ ନିମିତ୍ତ ପମ୍ପ୍ ବା ହାତ ତଳେ ନିଆଁ ଶିଖା ବା ସେ ଭଳି କିଛି ଉତ୍ତପ୍ତ ବସ୍ତୁ ରଖାଯାଇ ନାହିଁ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ ପମ୍ପରେ ଗ୍ୟାସକୁ ସଂକୋଚିତ କରିବା ଫଳରେ ଏବଂ ଘର୍ଷଣ ବିରୁଦ୍ଧରେ ହାତକୁ ଘଷିବା ଫଳରେ ଯାନ୍ତ୍ରିକ କାର୍ଯ୍ୟରୁ ତାପ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଛି । ବାସ୍ତବରେ ଏହି ଉଦାହରଣମାନ ଯାନ୍ତ୍ରିକ କାର୍ଯ୍ୟ ଓ ତାପନ ପ୍ରଭାବ ମଧ୍ୟରେ ସଂପର୍କ ସୂଚାଉଛି ।

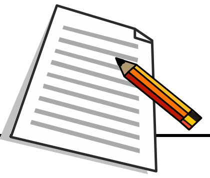
ଆମ ଅଭିଜ୍ଞତାରୁ ଆମେ ଜାଣୁ ଯେ ଗିଲାସେ ବରଫ-ଶୀତଳ ଜଳ ଗ୍ରୀଷ୍ମ ଦିନରେ ଖୋଲାରେ ରଖିଦେଲେ କିଛି ସମୟ ପରେ ଏହା ଉଷୁମ ହୁଏ । କିନ୍ତୁ କପେ ଗରମ କଫି ଟେବୁଲ ଉପରେ ରଖିଲେ ତାହା ଥଣ୍ଡା ହୋଇଯାଏ । ଏହାର ଅର୍ଥ ଏକ ତନ୍ତ୍ର ଜଳ ବା କଫି- ଏବଂ ଏହାର ପରିପାର୍ଶ୍ୱ ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତି ବିନିମୟ ହୋଇଛି । ତାପ ସନ୍ତୁଳନ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହି ଶକ୍ତି ବିନିମୟ ଘଟେ ଅର୍ଥାତ୍ ଉଭୟ ତନ୍ତ୍ର ଓ ପରିପାର୍ଶ୍ୱ ସମାନ ତାପମାତ୍ରାରେ ରହିବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ । ଏହା ମଧ୍ୟ ଦର୍ଶାଉଛି ଯେ ତାପ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣର ଦିଗ ହେଉଛି ଉଚ୍ଚତର ତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଏକ ବସ୍ତୁରୁ ନିମ୍ନ ତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଏକ ବସ୍ତୁକୁ । ତୁମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ପ୍ରଶ୍ନ କରିପାର : ଶକ୍ତି କେଉଁ ରୂପରେ ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ ହେଉଛି ? ଉପରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ଉଦାହରଣରେ ଶକ୍ତି ତାପ ରୂପରେ ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ ହୁଏ । ତେଣୁ ଆମେ କହି ପାରିବା ଯେ **ଦୁଇଟି (ବା ତତୋଧିକ) ତନ୍ତ୍ର ବା ଗୋଟିଏ ତନ୍ତ୍ର ଓ ଏହାର ପରିପାର୍ଶ୍ୱ ମଧ୍ୟରେ ତାପମାତ୍ରା ପାର୍ଥକ୍ୟ ଯୋଗୁଁ ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତିକୁ ତାପଶକ୍ତି କୁହାଯାଏ ।**

ତୁମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ପ୍ରଶ୍ନ କରିପାର, ଏହି ଶକ୍ତିର ରୂପ କ'ଣ ? ତାପ ଓ ଯାନ୍ତ୍ରିକର କାର୍ଯ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ତୁଲ୍ୟତା ସଂପର୍କରେ ତାଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟରୁ ଜୁଲ୍‌ଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଏହି ପ୍ରଶ୍ନର ଉତ୍ତର ମିଳିଲା : ତନ୍ତ୍ରକୁ ସୃଷ୍ଟି କରୁଥିବା ଅଣୁମାନଙ୍କର ଯାନ୍ତ୍ରିକ ଗତି ତାପ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ।

ତାପର ଏକକ କ୍ୟାଲୋରି । ଏକ ଗ୍ରାମ୍ ଜଳର ତାପମାତ୍ରା 14.5^0C ରୁ 15.5^0C କୁ ବୃଦ୍ଧି ନିମିତ୍ତ ଆବଶ୍ୟକ ତାପ ଶକ୍ତି ହେଉଛି ଏକ କ୍ୟାଲୋରିର ସଂଜ୍ଞା । ଏହାକୁ cal ଭାବରେ ସୂଚାଯାଏ । ତାପ ଶକ୍ତିର ବୃହତ୍ତର ଏକକ ହେଉଛି କିଲୋକ୍ୟାଲୋରି (kcal)

$1 \text{ kcal} = 10^3 \text{ cal}$

ଆହୁରି ମଧ୍ୟ $1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$



ଟିପ୍ପଣୀ

11.1.2. ତାପମାତ୍ରାର ଧାରଣା

ତାପର ପ୍ରକୃତି ଅଧ୍ୟୟନ ସମୟରେ ତୁମେ ଜାଣିଲ ଯେ ଗିଲାସେ ଥଣ୍ଡା ପାଣି ଓ ତା'ର ପରିପାର୍ଶ୍ୱ ମଧ୍ୟରେ ତାପୀୟ ସନ୍ତୁଳନ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଶକ୍ତି ବିନିମୟ ଚାଲୁ ରହେ । ତାପ ସନ୍ତୁଳନରେ ଥିବା ସମସ୍ତ ବସ୍ତୁର ଏକ ସାଧାରଣ ଧର୍ମ ଅଛି, ଯାହାର ମୂଲ୍ୟ ସମସ୍ତଙ୍କ ପାଇଁ ସମାନ । ଏହାକୁ ତାପମାତ୍ରା କୁହାଯାଏ । ତେଣୁ ଆମେ କହିପାରିବା ଯେ ତାପମାତ୍ରା ବସ୍ତୁର ଏକ ଧର୍ମ ଯାହାକି ବସ୍ତୁଟି ଅନ୍ୟ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କ ସହିତ ତାପୀୟ ସନ୍ତୁଳନରେ ରହିଛି କି ନାହିଁ, ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରେ ।

11.1.3. ତାପଗତୀୟ ସଂଜ୍ଞାମାନ (Thermodynamic terms)

(i) ତାପଗତୀୟ ତନ୍ତ୍ର: (Thermodynamic system)

ଏହାକୁ ପ୍ରଭାବିତ କଲା ଭଳି ପରିପାର୍ଶ୍ୱର ଅନ୍ୟ ସମସ୍ତଙ୍କଠାରୁ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ, ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ଜଡ଼ ଯୋଗୁଁ ସୃଷ୍ଟ ଏକ ଅନନ୍ୟ ସଂସ୍ଥାକୁ ଏକ ତାପଗତୀୟ ତନ୍ତ୍ର କୁହାଯାଏ । ପ୍ରତ୍ୟେକ ତନ୍ତ୍ର ଏକ ଯାଦୃଚ୍ଛିକ (arbitary) ପୃଷ୍ଠ ଦ୍ୱାରା ପରିବେଷ୍ଟିତ, ଯାହାକୁ କି ଏହାର ପରିସୀମା (boundary) କୁହାଯାଏ । ପରିସୀମା ମଧ୍ୟରେ ଏକ ଘନ ପଦାର୍ଥ, ତରଳ ପଦାର୍ଥ ବା ଗ୍ୟାସ ରହିପାରେ । ଏହା ବାସ୍ତବ ବା କଳ୍ପିତ ହୋଇପାରେ, ସ୍ଥିର ବା ଗତିଶୀଳ ହୋଇପାରେ ଏବଂ ଏହାର ଆକାର ଓ ଆକୃତି ପରିବର୍ତ୍ତନ କରିପାରେ । ଏକ ତନ୍ତ୍ରର ପରିସୀମା ବାହାରେ ରହିଥିବା ସ୍ଥାନକୁ ନେଇ ଏହାର ପରିପାର୍ଶ୍ୱ ହୁଏ ।

(a) ମୁକ୍ତ ତନ୍ତ୍ର (Open system) : ଏହା ଏଭଳି ଏକ ତନ୍ତ୍ର ଯାହାକି ପରିପାର୍ଶ୍ୱ ସହିତ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ଶକ୍ତି ବିନିମୟ କରିପାରେ । ଗୋଟିଏ ଜଳତାପକ ଯନ୍ତ୍ର (water heater) ଏକ ମୁକ୍ତ ତନ୍ତ୍ର ଅଟେ ।

(b) ଆବଦ୍ଧ ତନ୍ତ୍ର (Closed system) : ଏହା ଏଭଳି ଏକ ତନ୍ତ୍ର ଯାହାକି ପରିପାର୍ଶ୍ୱ ସହିତ ଶକ୍ତି ବିନିମୟ କରିପାରେ, କିନ୍ତୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ନୁହେଁ । ପିଷ୍ଟନ୍ ଲାଗିଥିବା ଏକ ସ୍ତମ୍ଭକରେ ଭର୍ତ୍ତି ଗ୍ୟାସ୍ ଏକ ରୁଦ୍ଧ ତନ୍ତ୍ରର ଉଦାହରଣ ।

(c) ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ତନ୍ତ୍ର (Isolated system) : ଏହା ଏଭଳି ଏକ ତନ୍ତ୍ର ଯାହାକି ପରିପାର୍ଶ୍ୱ ସହିତ ବସ୍ତୁତ୍ୱ କିମ୍ବା ଶକ୍ତି କିଛି ହେଲେ ବିନିମୟ କରିପାରିବ ନାହିଁ ।

(ii) ତାପଗତୀୟ ପରିବର୍ତ୍ତନଶୀଳ ବା ସୂଚକ (Thermodynamic variable or coordinates) :

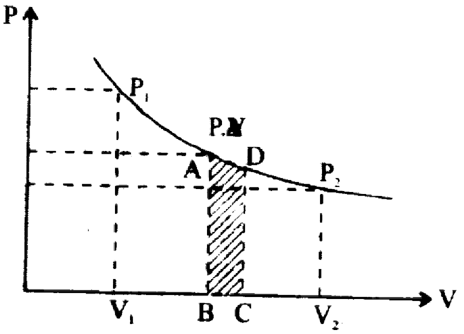
ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁ (ବା ଏକ ତନ୍ତ୍ର)ର ଗତିକୁ ଆମେ ତାହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ, ଅବସ୍ଥାନ ଏବଂ ପରିବେଗ ସଂଜ୍ଞାରେ ମୋଡ୍ୟୁଲ-୧ ରେ ପଢ଼ିଛୁ । ଏକ ତାପଗତୀୟ ତନ୍ତ୍ରକୁ ବର୍ଣ୍ଣନା କରିବାକୁ ଆମେ ଏହାର ଭୌତିକୀ ଧର୍ମ ଯଥା ତାପମାତ୍ରା (T), ଚାପ (P) , ଆୟତନ (V) ବ୍ୟବହାର କରୁ । ଏମାନଙ୍କୁ ତାପଗତୀୟ ସୂଚକ କୁହାଯାଏ ।

(iii) ସୂଚକ ଆରେଖ (Indicator diagram) : ଦ୍ୱିତୀୟ ଅଧ୍ୟାୟରେ ତୁମେ ବିସ୍ଥାପନ - ସମୟ ଏବଂ ପରିବେଗ - ସମୟ ଗ୍ରାଫ୍ ସଂପର୍କରେ ପଢ଼ିଛ । ଏକ ତାପଗତୀୟ ତନ୍ତ୍ର ଅଧ୍ୟୟନ କରିବାକୁ, ଆମେ ଚାପ - ଆୟତନ ଗ୍ରାଫ୍ ବ୍ୟବହାର କରୁ । ଏକ ତାପଗତୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଏକ ତନ୍ତ୍ରର ଆୟତନର ପରିବର୍ତ୍ତନ ସହିତ ଚାପର କିପରି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ, ତାହା ଏହି ଗ୍ରାଫ୍ ସୂଚାଏ ଏବଂ ଏହାକୁ ସୂଚକ ଆରେଖ କୁହାଯାଏ ।

ସଂପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟ ନିମିତ୍ତ ଏକ ବ୍ୟଞ୍ଜକ ନିଗମନ କରିବାକୁ ସୂଚକ ଆରେଖ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇ ପାରିବ । ଏହା P-V ଆରେଖ ନିମ୍ନସ୍ଥ କ୍ଷେତ୍ରର କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ସହିତ ସମାନ (ଚିତ୍ର 11.1) । ଅତ୍ୟନ୍ତ ସ୍ୱଳ୍ପ ପ୍ରସାରଣ dV ରେ ଆରମ୍ଭ ସମୟରେ ଚାପ P ହେଉ । ତେବେ ତନ୍ତ୍ର ଦ୍ୱାରା ସଂପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟର ପରିମାଣ,

$$dW = PdV = \text{ଛାୟାଙ୍କିତ ପଟି ABCD ର କ୍ଷେତ୍ରଫଳ} \quad (11.1)$$

ତନ୍ତ୍ରର ପ୍ରସାରଣ V_1 ରୁ V_2 ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ହେଲେ, ସଂପାଦିତ ସମଗ୍ର କାର୍ଯ୍ୟର ପରିମାଣ= $P_1P_2V_2V_1P_1$ ର କ୍ଷେତ୍ରଫଳ । ଲକ୍ଷ୍ୟ କର, ସୂଚକ ଆରେଖର ଆକୃତି ଉପରେ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ନିର୍ଭର କରୁଛି ।



ଚିତ୍ର 11.1 ସୂଚକ ଆରେଖ

ପ୍ରସାରଣ କିମ୍ବା ସଂପୀଡ଼ନ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ସଂପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟର ପରିମାଣ ହିସାବ କରିବାକୁ ସୂଚକ ଆରେଖର ବହୁଳ ବ୍ୟବହାର ହୁଏ । ଯେଉଁ ପ୍ରକ୍ରିୟା ମାନଙ୍କରେ P ଓ V ମଧ୍ୟରେ ସଂପର୍କ ଜଣା ନାହିଁ ସେ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏହା ଅଧିକ ଉପଯୋଗୀ । ତନ୍ତ୍ରରେ କାର୍ଯ୍ୟ ପ୍ରୟୋଗ ହେଲେ ଏହାର ଶକ୍ତି ବୃଦ୍ଧି ପାଏ ଏବଂ ତନ୍ତ୍ର ଦ୍ୱାରା କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦିତ ହେଲେ ଏହାର ଶକ୍ତି ହ୍ରାସ ପାଏ । ସେଥିପାଇଁ, ତନ୍ତ୍ରରେ ପ୍ରୟୋଗ ହୋଇଥିବା କାର୍ଯ୍ୟକୁ ନେଗେଟିଭ୍ କୁହାଯାଏ । ତୁମେ ଜାଣ ଯେ ଏକ ସମୋଷ୍ମ ଆରେଖ (ସ୍ଥିର ତାପମାତ୍ରାରେ P - V ର ଆରେଖ)ରେ ଆବୃତ୍ତ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ତାହାର ଆକୃତି ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ଆମେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କରିପାରିବା ଯେ ଏକ ତନ୍ତ୍ର ଦ୍ୱାରା ବା ତନ୍ତ୍ର ଉପରେ ସଂପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟର ପରିମାଣ କେବଳ ପଥ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ଅର୍ଥାତ୍ ସଂପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟର ପରିମାଣ ପ୍ରାରମ୍ଭ କିମ୍ବା ଅନ୍ତିମ ଅବସ୍ଥା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ନାହିଁ ।

11.2 ତାପଗତିକ ସନ୍ତୁଳନ

ମନେକର ଗୋଟିଏ ପାତ୍ରରେ 60^0C ତାପମାତ୍ରାରେ ଏକ ତରଳ ପଦାର୍ଥ (ଜଳ, ଚା, ଦୁଧ, କଫି) ଭର୍ତ୍ତି ହୋଇଛି । ଆମର ଏହା ସାଧାରଣ ଅଭିଜ୍ଞତା ଯେ ଏହାକୁ ସେମିତି ରଖିଦେଲେ, କିଛି ସମୟ ପରେ ତରଳ ପଦାର୍ଥଟି ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ତାପମାତ୍ରାରେ ପହଞ୍ଚିବ । ସେତେବେଳେ ଆମେ କହୁ ଯେ ପାତ୍ରରେ ଥିବା ଜଳ ଏହାର ପରିପାର୍ଶ୍ୱ ସହିତ ତାପୀୟ ସନ୍ତୁଳନ ଲାଭ କରିଛି ।

ତନ୍ତ୍ର ମଧ୍ୟରେ, ଯଦି ଚାପ, କିମ୍ବା ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ପ୍ରତିବଳ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ତେବେ ତନ୍ତ୍ରର କେତେକ ଅଂଶର କିଛି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୋଇପାରେ । ଅବଶ୍ୟ ଏ ସମସ୍ତ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଶେଷକୁ ବନ୍ଦ ହୁଏ ଏବଂ ଅସନ୍ତୁଳିତ ବଳ ତନ୍ତ୍ର ଉପରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରେ । ସେତେବେଳେ ଆମେ କହୁ ଯେ ଏହା ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ସନ୍ତୁଳନରେ ଅଛି । ତୁମେ ଜାଣିଛ କି ତରଳ ପଦାର୍ଥରୁ ଗଠନ ହେଉଥିବା ଅବସ୍ଥାରେ ଆମ ପୃଥିବୀ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ସନ୍ତୁଳନ ଲାଭ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ନିରକ୍ଷବୃତ୍ତ ନିକଟରେ ସ୍ଫିତ ହୋଇଯାଇଛି ?

ଯଦି ଏକ ତନ୍ତ୍ରରେ କିଛି ଅଂଶରେ ରାସାୟନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟା ହେଉଥାଏ ତେବେ କିଛି ସମୟ ପରେ ସବୁ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ରାସାୟନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟା ବନ୍ଦ ହୋଇଯିବ । ସେତେବେଳେ ତନ୍ତ୍ରଟି ରାସାୟନିକ ସନ୍ତୁଳନରେ ଅଛି ବୋଲି କୁହାଯିବ ।

ଯେଉଁ ଗୋଟିଏ ତନ୍ତ୍ର ତାପୀୟ, ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଓ ରାସାୟନିକ ସନ୍ତୁଳନରେ ଥାଏ, ତାହା ତାପଗତିକ ସନ୍ତୁଳନରେ ଅଛି ବୋଲି କୁହାଯାଏ ।

11.2.1 ତାପଗତିକ ପ୍ରକ୍ରିୟା (Thermodynanmic process)

ଏକ ସନ୍ତୁଳିତ ଅବସ୍ଥାରୁ ଅନ୍ୟ ଏକ ସନ୍ତୁଳିତ ଅବସ୍ଥାକୁ ଯିବା ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଗୋଟିଏ ତନ୍ତ୍ରର ଯେକୌଣସି ତାପଗତିକ ସୂଚକ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଲେ, ତନ୍ତ୍ରଟି ଏକ ତାପଗତିକ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସଂପାଦନ କରୁଛି ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ସ୍ଥିର ଚାପରେ ତାପନ ଯୋଗୁଁ ଏକ ସ୍ତମ୍ଭକରେ ଥିବା ଗ୍ୟାସର ପ୍ରସାରଣ ଏକ ତାପଗତିକ

ଟିପ୍ପଣୀ

ଟିପ୍ପଣୀ

ପ୍ରକ୍ରିୟା । ଗୋଟିଏ ତାପଗତିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାର ଚିତ୍ର ପ୍ରତିରୂପ ପ୍ରଦର୍ଶନକୁ (graphical representation) ପଥ କୁହାଯାଏ ।

ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ତାପଗତିକ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସଂପର୍କରେ ଆଲୋଚନା କରିବା ।

(i) ଉତ୍କ୍ରମଣୀୟ (Reversible) ପ୍ରକ୍ରିୟା :

ଏକ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଯଦି ଏପରି ସଂପାଦିତ ହୁଏ ଯେ ପ୍ରାରମ୍ଭ ଓ ଅନ୍ତିମ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ସମସ୍ତ ଅବସ୍ଥାନମାନ ମଧ୍ୟ ସନ୍ତୁଳିତ ଏବଂ ପ୍ରକ୍ରିୟାଟି ସେହି ସମସ୍ତ ସନ୍ତୁଳିତ ଅବସ୍ଥା ଦେଇ ଅନ୍ତିମ ଅବସ୍ଥାରୁ ଏହାର ପ୍ରାରମ୍ଭ ଅବସ୍ଥାକୁ ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତନ କରିପାରେ, ତେବେ ଏହାକୁ ଏକ ଉତ୍କ୍ରମଣୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା କୁହାଯାଏ । ଉତ୍କ୍ରମଣୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟାର ସଂପାଦନ ଗତି ଅତି ମନ୍ଥର ଓ ନିୟନ୍ତ୍ରିତ । ନିମ୍ନଲିଖିତ ଉଦାହରଣମାନ ବିଚାର କର ।

- ବିକରରେ ଖଣ୍ଡେ ବରଫ ନିଅ ଏବଂ ଏହାକୁ ଗରମ କର । ତୁମେ ଦେଖିବ ଏହା ଜଳରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେବ । ଗୋଟିଏ ରେଫ୍ରିଜେରେଟର ଭିତରେ ଏହାକୁ ରଖି ତୁମେ ଯଦି ସମାନ ପରିମାଣର ତାପ ଜଳରୁ କାଢ଼ି ନିଅ, ଏହା ପୁନର୍ବାର ବରଫକୁ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେବ (ପ୍ରାରମ୍ଭ ଅବସ୍ଥା) ।

- ଗୋଟିଏ ପ୍ରାନ୍ତରୁ ଝୁଲାଯାଉଥିବା ସ୍ପ୍ରିଙ୍ଗଟିଏ ବିଚାର କର । ମୁକ୍ତ ପ୍ରାନ୍ତରେ ଗୋଟିକ ପରେ ଗୋଟିଏ ଲେଖାଏଁ କିଛି ବଟକରା ରଖ । ତୁମେ ଦେଖିବ ସ୍ପ୍ରିଙ୍ଗ୍‌ର ପ୍ରସାରଣ ହେବ (ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବୃଦ୍ଧି ହେବ) । ବଟକରାଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିକ ପରେ ଗୋଟିଏ ଲେଖାଏଁ କାଢ଼ି ନିଅ । ତୁମେ ଦେଖିବ, ସ୍ପ୍ରିଙ୍ଗ ତା'ର ପ୍ରାରମ୍ଭ ଅବସ୍ଥାକୁ ଫେରି ଆସିବ । ତେଣୁ ଏହା ଏକ ଉତ୍କ୍ରମଣୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା ।

ପ୍ରକୃତରେ, ଏକ ଉତ୍କ୍ରମଣୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଏକ ଆଦର୍ଶ ରୂପ ଏବଂ ବାସ୍ତବ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏହା ପାଇବା ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ ।

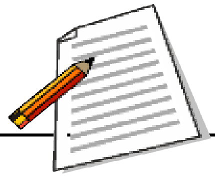
(ii) ଅନୁତ୍କ୍ରମଣୀୟ (Irreversible) ପ୍ରକ୍ରିୟା :

ଯେଉଁ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଅନ୍ତିମ ଅବସ୍ଥାରୁ ପ୍ରାରମ୍ଭ ଅବସ୍ଥାକୁ ପୂର୍ବର ସମାନ ସନ୍ତୁଳନ ଅବସ୍ଥା ଦେଇ ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତନ କରି ହେବ ନାହିଁ, ତାହାକୁ ଅନୁତ୍କ୍ରମଣୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା କୁହାଯାଏ ।

ସମସ୍ତ ସ୍ୱାଭାବିକ ପ୍ରକ୍ରିୟା - ଅନୁତ୍କ୍ରମଣୀୟ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଘର୍ଷଣରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ତାପ, ଜଳରେ ଦ୍ରବୀଭୂତ ଚିନି ବା ବାୟୁରେ ଲୁହାର କଳଙ୍କି । ଏହାର ଅର୍ଥ ଅନୁତ୍କ୍ରମଣୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ମଧ୍ୟବର୍ତ୍ତୀ ଅବସ୍ଥାମାନ ସନ୍ତୁଳନ ଅବସ୍ଥା ନୁହଁନ୍ତି ଏବଂ ଏ ଭଳି ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ ଗୋଟିଏ ପଥ ଦ୍ୱାରା ସୂଚାଯାଇ ପାରିବନି । ଏଥିରୁ କ'ଣ ଆମେ ବୁଝିବା ଯେ ଆମେ ଏକ ଅନୁତ୍କ୍ରମଣୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟାର ବିଶ୍ଳେଷଣ କରି ପାରିବା ନାହିଁ ? ଏଥି ନିମିତ୍ତ ଆମେ ବ୍ୟବହାରକରୁ ସ୍ଥୈତିକ-କଳ୍ପ (quasi - static) ପ୍ରକ୍ରିୟା ଯାହାକି ସନ୍ତୁଳିତ ଅବସ୍ଥାର ଅତ୍ୟନ୍ତ ନିକଟତର ।

(iii) ସମୋଷ୍ମ (Isothermal) ପ୍ରକ୍ରିୟା :

ସ୍ଥିର ତାପମାତ୍ରାରେ ସଂପାଦିତ ତାପଗତିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ ଏକ ସମୋଷ୍ମ ପ୍ରକ୍ରିୟା କୁହାଯାଏ । ଏକ ଆଦର୍ଶ ପରିବାହୀ ଦ୍ୱାରା ତିଆରି ହୋଇଥିବା ସ୍ତମ୍ଭକରେ ଏକ ଆଦର୍ଶ ଗ୍ୟାସ୍‌ର ପ୍ରସାରଣ ବା ସଂକୋଚନ ମାନ ସମୋଷ୍ମ ପ୍ରକ୍ରିୟା । ଚାପ ବା ଆୟତନର ପରିବର୍ତ୍ତନ ଅତି ମନ୍ଥର ଗତିରେ ହୁଏ ଯେପରିକି ଉତ୍ପନ୍ନ ତାପ ପରିପାର୍ଶ୍ୱକୁ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ହୁଏ ଏବଂ ତନ୍ତ୍ରର ତାପମାତ୍ରା ସ୍ଥିର ରହେ । ସର୍ବଦା ତାପୀୟ ସନ୍ତୁଳନ ରହେ । ଏଭଳି ଏକ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ, Dq , Du ଏବଂ DW ସସୀମ ଅଟେ ।



(iv) ରୁଦ୍ଧତାପୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା (Adiabatics process) :

ଯେଉଁ ତାପଗତିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ତାପଶକ୍ତି ବିନିମୟ ହୁଏ ନାହିଁ, ତାହାକୁ ଏକ ରୁଦ୍ଧତାପୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା କୁହାଯାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ : ଆଦର୍ଶ ରୋଧୀର ନିର୍ମିତ ସ୍ତମ୍ଭକ ମଧ୍ୟରେ ଏକ ଆଦର୍ଶ ଗ୍ୟାସର ପ୍ରସାରଣ ଓ ସଂକୋଚନ । ତନ୍ତ୍ରଟି ପରିପାର୍ଶ୍ୱଠାରୁ ସଂପୂର୍ଣ୍ଣ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ । ତନ୍ତ୍ରରୁ କିଛି ତାପ ବାହାରକୁ ଆସେ ନାହିଁ କିମ୍ବା ପରିପାର୍ଶ୍ୱରୁ କିଛି ତାପ ଏହା ମଧ୍ୟକୁ ପ୍ରବେଶ କରେ ନାହିଁ । ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ

ତେଣୁ DQ = 0 ଏବଂ DU = – DW

ତନ୍ତ୍ରର ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତିର ପରିବର୍ତ୍ତନ ତନ୍ତ୍ର ଉପରେ ପ୍ରୟୋଗ ହୋଇଥବା କାର୍ଯ୍ୟର ପରିମାଣ ସହିତ ସମାନ । ଗ୍ୟାସକୁ ସଂକୋଚନ କଲେ, ତନ୍ତ୍ର ଉପରେ କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦିତ ହୁଏ । ତେଣୁ DU ଯୁକ୍ତାତ୍ମକ ହୁଏ ଏବଂ ତନ୍ତ୍ରର ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି ବୃଦ୍ଧି ପାଏ । ଗ୍ୟାସ ପ୍ରସାରିତ ହେଲେ, ତନ୍ତ୍ର ଦ୍ୱାରା କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦିତ ହୁଏ । ଏହାକୁ ପଜିଟିଭ୍ ନିଆଯାଏ ଏବଂ DU ବିଯୁକ୍ତାତ୍ମକ ହୁଏ । ତନ୍ତ୍ରର ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି ହ୍ରାସ ପାଏ ।

(v) ସମଚାପୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା (Isobaric process) :

ଯେଉଁ ତାପଗତିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଚାପ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହେ, ତାହାକୁ ସମଚାପୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା କୁହାଯାଏ । ବାୟୁମଣ୍ଡଳୀୟ ଚାପରେ ଜଳକୁ ଗରମ କରିବା ଏକ ସମଚାପୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା ।

(vi) ସମାୟତନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟା (Isochoric process) :

ଯେଉଁ ତାପଗତିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଆୟତନ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହେ, ତାହାକୁ ସମାୟତନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟା କୁହାଯାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଆୟତନ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହୁଥିବା ଏକ ପାତ୍ରରେ ଗ୍ୟାସକୁ ଗରମ କରିବା ଏକ ସମାୟତନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟା । ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଆୟତନ ସ୍ଥିର ରହେ ଯାହା ଫଳରେ କୌଣସି କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦନ ହୁଏ ନାହିଁ, ଅର୍ଥାତ୍ DW = 0 । ତେଣୁ ଆମେ ପାଇବୁ

DQ = DU

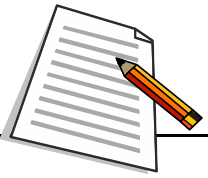
ଏକ **ଚକ୍ରୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ** (Cyclic process) ତନ୍ତ୍ରଟି ନିଜର ପ୍ରାରମ୍ଭ ଅବସ୍ଥାକୁ ଫେରି ଆସେ । ଏହାର ଅର୍ଥ, ତନ୍ତ୍ରର ଅନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତିରେ କିଛି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ନାହିଁ । DU = 0

\ DQ = DW

11.2.2. ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଶୂନ୍ତମ ନିୟମ (Zeroth law of Thermodynamics) :

ତିନୋଟି ଧାତବ ପିଣ୍ଡ A, B ଓ C କୁ ବିଚାରକୁ ନିଆଯାଉ । ମନେକର, ପିଣ୍ଡ A ଟି ପିଣ୍ଡ B ସହିତ ତାପୀୟ ସନ୍ତୁଳନରେ ଅଛି । ଆହୁରି ମଧ୍ୟ ମନେକର, ପିଣ୍ଡ A ଟି ପିଣ୍ଡ C ସହିତ ତାପୀୟ ସନ୍ତୁଳନରେ ଅଛି । ଏହାର ଅର୍ଥ ପିଣ୍ଡ A ର ତାପମାତ୍ରା ପିଣ୍ଡ B ଏବଂ ପିଣ୍ଡ C ର ତାପମାତ୍ରା ସହିତ ସମାନ । ତେଣୁ ଏଥିରୁ ମିଳୁଛି ପିଣ୍ଡ B ଓ ପିଣ୍ଡ C ର ତାପମାତ୍ରା ପରସ୍ପର ସହିତ ସମାନ । ଏହି ଫଳର ସାରାଂଶ ଆମେ ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଶୂନ୍ତମ ନିୟମ ଭାବରେ ଦେଉଛୁ ।

ଦୁଇଟି ବସ୍ତୁ ବା ତନ୍ତ୍ର A ଓ B ଯଦି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବେ ଏକ ତୃତୀୟ ବସ୍ତୁ ସହିତ ତାପୀୟ ସନ୍ତୁଳନରେ ଅଛନ୍ତି, ତେବେ A ଓ B ପରସ୍ପର ସହିତ ତାପୀୟ ସନ୍ତୁଳନରେ ଅଛନ୍ତି ।

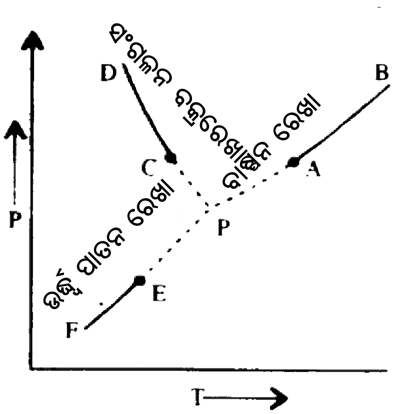


ଟିପ୍ପଣୀ

ପ୍ରାବସ୍ଥା ପରିବର୍ତ୍ତନ ଏବଂ ପ୍ରାବସ୍ଥା ଚିତ୍ର (Phase change and phase diagram)

ତୁମେ ଜାଣିଛ ଯେ ମାନକ ଚାପ - ତାପମାତ୍ରା (STP) ରେ ଜଡ଼ ତିନିଟି ଅବସ୍ଥାରେ ରହେ : ଘନ, ତରଳ ଓ ଗ୍ୟାସ ।

ଜଡ଼ର ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାକୁ ଏହାର ପ୍ରାବସ୍ଥା (Phase) କୁହାଯାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ ବରଫ (ଘନ), ଜଳ (ତରଳ) ଏବଂ ବାଷ୍ପ (ଗ୍ୟାସ) ଜଳର ତିନିଟି ପ୍ରାବସ୍ଥା ଅଟେ । ଚାପ (*P*), ତାପମାତ୍ରା (*T*) ଏବଂ ଆୟତନ (*V*) କୁ ନେଇ ତ୍ରିବିମିତୀୟ ଚିତ୍ର ଅଙ୍କନ କରି ଆମେ ଏହି ତିନି ପ୍ରାବସ୍ଥା ସଂପର୍କରେ ଆଲୋଚନା କରିପାରିବା । ତ୍ରିବିମିତୀୟ ଚିତ୍ର ଅଙ୍କନ କଷ୍ଟସାଧ୍ୟ । ତେଣୁ, ଆମେ ଚାପ-ତାପମାତ୍ରା ଚିତ୍ର ଅଙ୍କନ କରି ଜଡ଼ର ତିନି ପ୍ରାବସ୍ଥା ସଂପର୍କରେ ଆଲୋଚନା କରିବା । ଏହାକୁ **ପ୍ରାବସ୍ଥା ଚିତ୍ର** କୁହାଯାଏ ।



ଚିତ୍ର 11.2 ଜଳର ପ୍ରାବସ୍ଥା ଚିତ୍ର

ଜଳର ପ୍ରାବସ୍ଥା ଚିତ୍ର ପାଇଁ ଚିତ୍ର 11.2 କୁ ଲକ୍ଷ୍ୟ କର । ତୁମେ ତିନିଟି ବକ୍ର ଲେଖ (curve) CD, AB, EF କୁ ଦେଖିପାରିବ । ଚାପ ପରିବର୍ତ୍ତନ ସହିତ ବରଫର ଗଳନାଙ୍କର ପରିବର୍ତ୍ତନ ବକ୍ରଲେଖ CD ସୂଚଉଛି । ଏହାକୁ ସଂଗଳନ ବକ୍ରଲେଖ (Fusion Curve) କୁହାଯାଏ । ଚାପ ସହିତ ଜଳ ସ୍ଫୁଟନାଙ୍କର ପରିବର୍ତ୍ତନ ବକ୍ରଲେଖ AB ଦର୍ଶାଯାଇଛି । ଏହାକୁ ବାଷ୍ପନ ବକ୍ରଲେଖା (Vaporization curve) କୁହାଯାଏ । ବରଫରୁ ସିଧା ବାଷ୍ପକୁ ପରିବର୍ତ୍ତନ EF ବକ୍ରଲେଖ ଦର୍ଶାଉଛି । ଏହାକୁ ଉର୍ଦ୍ଧ୍ୱ-ପାତନ ବକ୍ରଲେଖା (Sublimation curve) କୁହାଯାଏ । ଏହାକୁ ମଧ୍ୟ ଉର୍ଦ୍ଧ୍ୱପାତନ ରେଖା (Hoarfrost line) କୁହାଯାଏ ।

ବକ୍ରଲେଖ AB, CD ଏବଂ ED କୁ ବର୍ଦ୍ଧିତ କଲେ (ଚିତ୍ରରେ ବିନ୍ଦୁରେଖାରେ ଦର୍ଶାଯାଇଛି) ସେମାନେ P ବିନ୍ଦୁରେ ମିଳିତ ହେବେ । ଏହି ବିନ୍ଦୁକୁ **ତ୍ରିତଃବିନ୍ଦୁ** (triple point) କୁହାଯାଏ । ତ୍ରିତଃବିନ୍ଦୁରେ, ତିନୋଟିଯାକ ପ୍ରାବସ୍ଥା ଏକତ୍ର ରହିପାରନ୍ତି ।

ଏକ ଘନପଦାର୍ଥକୁ ଗରମ କଲେ, ତାହା ତରଳିବା ଆରମ୍ଭ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ତାପମାତ୍ରା ବୃଦ୍ଧି ପାଏ । ଏହି ତାପମାତ୍ରାକୁ ଘନ ପଦାର୍ଥର **ଗଳନବିନ୍ଦୁ** (melting point) କୁହାଯାଏ । ଏହି ପ୍ରାବସ୍ଥା ପରିବର୍ତ୍ତନ କାଳରେ ଆମେ ତାପ ଯୋଗାଣ ଚାଲୁ ରଖୁ କିନ୍ତୁ ତାପମାତ୍ରା ବୃଦ୍ଧି ହୁଏ ନାହିଁ । **ଗଳନ ବିନ୍ଦୁରେ ଏକକ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଘନବସ୍ତୁକୁ ତାହାର ଅନୁରୂପ ତରଳ ବସ୍ତୁରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ କରିବାକୁ ଆବଶ୍ୟକୀୟ ତାପକୁ ଘନ ପଦାର୍ଥର ସଂଗଳନ ଗୁପ୍ତତାପ (Latent heat of fusion of the solid) କୁହାଯାଏ**

ଏକ ତରଳ ପଦାର୍ଥକୁ ଗରମ କଲେ ସ୍ଫୁଟନାଙ୍କରେ (boiling point) ପହଞ୍ଚିବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହାର ତାପମାତ୍ରା ବୃଦ୍ଧି ପାଏ । ସ୍ଫୁଟନାଙ୍କରେ ଆମେ ଯୋଗାଉଥିବା ତାପଶକ୍ତି ତରଳ ପଦାର୍ଥକୁ ଏହାର ଗ୍ୟାସ ରୂପରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରିବାରେ ବ୍ୟୟ ହୁଏ । **ସ୍ଥିର ତାପମାତ୍ରାରେ ଏକକ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ତରଳ ପଦାର୍ଥର ଅନୁରୂପ ଗ୍ୟାସୀୟ ଅବସ୍ଥାକୁ ପରିବର୍ତ୍ତନ ନିମିତ୍ତ ଆବଶ୍ୟକ ତାପକୁ ତରଳ ପଦାର୍ଥର ବାଷ୍ପୀକରଣର ଗୁପ୍ତତାପ (latent heat of vaporization) କୁହାଯାଏ ।**

ଟିପ୍ପଣୀ

11.2.3 ଜଳର ତ୍ରିତଃବିନ୍ଦୁ (Triple Point of water)

ଗୋଟିଏ ବିଶୁଦ୍ଧ ବସ୍ତୁର ତ୍ରିତଃବିନ୍ଦୁ ଏକ ଅତ୍ୟନ୍ତ ସ୍ଥାୟୀ ଅବସ୍ଥା । ଏହି ଅବସ୍ଥାକୁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମୂଲ୍ୟର ତାପମାତ୍ରା ଓ ଚାପର ମୂଲ୍ୟ ଦ୍ୱାରା ଦର୍ଶାଯାଏ । ସେଥିପାଇଁ, ତାପମାପନରେ ବ୍ୟବହୃତ କେଲଭିନ୍ ସ୍କେଲରେ ଜଳର ତ୍ରିତଃବିନ୍ଦୁକୁ ଉଚ୍ଚତମ ସ୍ଥିର ବିନ୍ଦୁ (upper fixed point) ଭାବେ ନିଆଯାଏ । ଚାପ ବୃଦ୍ଧି କଲେ, ଘନବସ୍ତୁର ଗଳନାଙ୍କ ହ୍ରାସ ପାଏ ଏବଂ ତରଳ ପଦାର୍ଥର ସ୍ଫୁଟନାଙ୍କ ବୃଦ୍ଧି ପାଏ । ତାପମାତ୍ରା ଓ ଚାପର ସମାୟୋଜନ କରି, ଆମେ ଜଡ଼ର ତିନି ଅବସ୍ଥାକୁ ଏକତ୍ର ରଖି ପାରିବା । ତାପମାତ୍ରା ଓ ଚାପର ଏହି ମୂଲ୍ୟମାନ **ତ୍ରିତଃବିନ୍ଦୁକୁ** ସୂଚାଏ ।

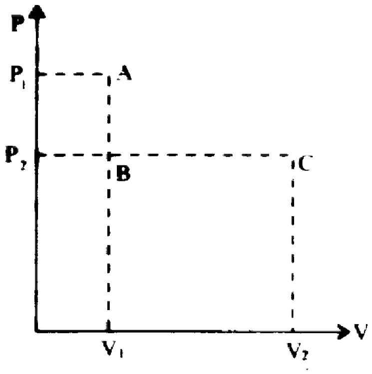
ପାଠଗତ ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ 11.1

1. ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନ ପୂରଣ କର ।

(i) ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଶୂନତମ ନିୟମରୁ .... ର ଧାରଣାର ଭିତ୍ତି ମିଳେ ।

(ii) ଯଦି ଏକ ତନ୍ତ୍ର A ଆଉ ଏକ ତନ୍ତ୍ର B ସହିତ ତାପୀୟ ସନ୍ତୁଳନରେ ଅଛି ଏବଂ B ଆଉ ଏକ ତନ୍ତ୍ର C ସହିତ ତାପୀୟ ସନ୍ତୁଳନରେ ଅଛି, ତେବେ A ମଧ୍ୟ ...... ତନ୍ତ୍ର ସହିତ ତାପୀୟ ସନ୍ତୁଳନରେ ରହିବ ।

(iii) ତାପର ଏକକ .... ଅଟେ ।



ଚିତ୍ର 11.3

2. ଚିତ୍ର 11.3 ଏକ ତାପଗତିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାର ସୂଚକ ଆରେଖ ଅଟେ । ନିମ୍ନଲିଖିତ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ତନ୍ତ୍ର ଦ୍ୱାରା ସଂପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟର ପରିମାଣ ହିସାବ କର :

(a) ABC ପଥରେ A ଠାରୁ C ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ

(b) ସେହି ପଥରେ ଯଦି ତନ୍ତ୍ର C ରୁ A କୁ ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତନ କରେ, ତେବେ ତନ୍ତ୍ର ଦ୍ୱାରା କେତେ ପରିମାଣର କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦିତ ହୋଇଛି ?

3. ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନ ପୂରଣ କର :

(i) ଅନ୍ତିମ ଅବସ୍ଥାରୁ ପ୍ରାରମ୍ଭ ଅବସ୍ଥାକୁ ବିପରୀତ ଦିଗରେ .... କରି ହେଉଥିବା ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ ଉତ୍କ୍ରମଣୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା କୁହାଯାଏ ।

(ii) ଅନ୍ତିମ ଅବସ୍ଥାରୁ ପ୍ରାରମ୍ଭ ଅବସ୍ଥାକୁ ସମାନ ସନ୍ତୁଳନ ଅବସ୍ଥା ମାନ ଦେଇ ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତନ ସମ୍ଭବ ନ ହେଉଥିବା ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ .... କୁହାଯାଏ ।

4. ସମତାପୀ ଓ ରୁଦ୍ଧତାପୀ ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ମୌଳିକ ପାର୍ଥକ୍ୟମାନ ଉଲ୍ଲେଖ କର ।

5. ତ୍ରିତଃବିନ୍ଦୁର ଗୋଟିଏ ଲକ୍ଷଣ ଉଲ୍ଲେଖ କର ।

11.3 ଏକ ତନ୍ତ୍ରର ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି

ହିମୀକରଣ ଫଳରେ ଜଳ ବରଫରେ ପରିଣତ ହେଲେ ଯେଉଁ ଶକ୍ତି ନିର୍ଗତ ହୁଏ, ସେ ସଂପର୍କରେ ତୁମେ ଚିନ୍ତା କରିଛ କି ? ତୁମେ କ'ଣ ଜାଣ ନାହିଁ ଯେ ଜଳରେ କିଛି ଶକ୍ତି ସଂଚିତ ଅଛି ? ଜଳ ବରଫରେ ପରିଣତ ହେଲେ ଏହି ଶକ୍ତି ନିର୍ଗତ ହୁଏ । ଏହି ସଞ୍ଚିତ ଶକ୍ତିକୁ **ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି** କୁହାଯାଏ । ଜଡ଼ର ଅଣୁଗତି

ଟିପ୍ପଣୀ

ତତ୍ତ୍ୱ ଭିତ୍ତିରେ ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତିକୁ ଜଡ଼ର ପ୍ରତ୍ୟେକ ଉପାଦାନ / ଭାଗର ଶକ୍ତିର ସମଷ୍ଟି ଭାବରେ ଆଲୋଚନା କରିପାରିବା । ଏଥିରେ ରହିଛି ସେମାନଙ୍କର ଇତସ୍ତତ ଗତି ଯୋଗୁଁ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଏବଂ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଯୋଗୁଁ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି । ଏମାନଙ୍କ ବିଷୟରେ ଆଲୋଚନା କରାଯାଉ ।

(a) ଆନ୍ତରୀଣ ଗତିଜ ଶକ୍ତି : ତୁମେ ଜାଣିଛ ଜଡ଼ର ଅଣୁଗତି ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁଯାୟୀ ଅନେକ ସଂଖ୍ୟକ ଅଣୁର ସମାହାରରେ ଜଡ଼ ଗଠିତ । ଏହି ଅଣୁମାନ ନିରନ୍ତର ଗତିଶୀଳ ଅବସ୍ଥାରେ ଅଛନ୍ତି ଏବଂ ତେଣୁ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ରହେ । **ସମସ୍ତ ଅଣୁମାନଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତିର ସମଷ୍ଟିରୁ ହୁଏ ବସ୍ତୁର ଆନ୍ତରୀଣ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ।**

(b) ଆନ୍ତରୀଣ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି : ଆନ୍ତଃ ଆଣବିକ ବଳ ଯୋଗୁଁ ସୃଷ୍ଟ ବଳକୁ ଆନ୍ତରୀଣ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି କୁହାଯାଏ ।

ପରିବାହୀ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ମାନଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତି, ଧାତୁର ପରମାଣୁ ମାନଙ୍କର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଏବଂ ସେମାନଙ୍କ ସନ୍ତୁଳନ ଅବସ୍ଥାନ ପ୍ରତି କମ୍ପନ ଶକ୍ତିର ସମଷ୍ଟିରୁ ହୁଏ ଏକ ଧାତବ ଦଣ୍ଡର ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି । ତନ୍ତ୍ରର ଅଣୁମାନଙ୍କର ବେଗ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ କରି (ତାପୀୟ ଶକ୍ତି ଯୋଗ କରି ଗତିଜ ଶକ୍ତି ବୃଦ୍ଧି) ଏହାର ଶକ୍ତି ବୃଦ୍ଧି କରାଯାଇପାରେ । ଅଣୁମାନଙ୍କୁ ଆନ୍ତଃ-ଆଣବିକ ବଳ ବିରୁଦ୍ଧରେ ଗତି କରାଇ ଅର୍ଥାତ କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦନ କରି ମଧ୍ୟ ଏହା ବୃଦ୍ଧି କରାଯାଇପାରେ । **ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି**କୁ ଅକ୍ଷର U ଦ୍ୱାରା ସୂଚାଯାଏ ।

ଏକ ତନ୍ତ୍ରର ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି = ଅଣୁମାନଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତି + ଅଣୁମାନଙ୍କର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି

ବାହ୍ୟ ବଳ ପ୍ରୟୋଗ ହୋଇଥବା ଏକ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ (isolated) ତାପଗତୀୟ ତନ୍ତ୍ର ବିଚାର କରାଯାଉ । ମନେକର, ପ୍ରାରମ୍ଭ ଅବସ୍ଥା i ରୁ ଅନ୍ତିମ ଅବସ୍ଥା f କୁ ଯିବାକୁ ତନ୍ତ୍ର ଉପରେ W ପରିମାଣର କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦିତ ହୁଏ । ତନ୍ତ୍ରର ପ୍ରାରମ୍ଭ ଅବସ୍ଥା ଓ ଅନ୍ତିମ ଅବସ୍ଥାରେ ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି ଯଥାକ୍ରମେ U_i ଓ U_f ହେଉ । ଯେହେତୁ ତନ୍ତ୍ର ଉପରେ କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦିତ ହୁଏ, ତନ୍ତ୍ରର ଅନ୍ତିମ ଅବସ୍ଥାର ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି ପ୍ରାରମ୍ଭ ଅବସ୍ଥାରୁ ଅଧିକ ।

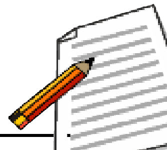
ଶକ୍ତି ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମାନୁସାରେ, ଆମେ ଲେଖି ପାରିବା

$$U_i - U_f = -W$$

ବିଯୁକ୍ତ ଚିହ୍ନ ବୁଝାଉଛି ଯେ ତନ୍ତ୍ର ଉପରେ କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦିତ ହୁଏ । ଏଠାରେ ଆମେ କହିପାରିବା ଯେ ଅନୁସୃତ ପଥ ଯାହା ହେଲେ ମଧ୍ୟ ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି କେବଳ ପ୍ରାରମ୍ଭ ଓ ଅନ୍ତିମ ଅବସ୍ଥା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ଏ ଦୃଷ୍ଟିରୁ ଏହା କାର୍ଯ୍ୟଠାରୁ ଭିନ୍ନ । ଏଥିରୁ ଆମେ କହିପାରିବା ଯେ U ଅବସ୍ଥାର ଫଳନ (function) ଏବଂ ଏହା କେବଳ ଅବସ୍ଥା ସୂଚକ P, V ଏବଂ T ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ମନେରଖ, ତନ୍ତ୍ର ଦ୍ୱାରା ଯଦି କିଛି କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦିତ ହୁଏ, ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି ହ୍ରାସ ପାଇବ ।

11.4 ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଥମ ନିୟମ

ତୁମେ ଜାଣିଛ ଯେ ସମାନ ତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ହେତୁ ବିଭିନ୍ନ ତନ୍ତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ତାପୀୟ ସନ୍ତୁଳନ ସଂପର୍କରେ ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଶୂନତମ ନିୟମ ଆମକୁ ଜଣାଏ । କିନ୍ତୁ ଏହି ନିୟମ ଆମକୁ ଅସନ୍ତୁଳିତ ଅବସ୍ଥା ସଂପର୍କରେ କିଛି କହେ ନାହିଁ । ଦୁଇଟି ଉଦାହରଣ ବିଚାର କରାଯାଉ । (i) ଭିନ୍ନ ତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଦୁଇଟି ତନ୍ତ୍ର ତାପୀୟ ସଂସ୍ପର୍ଶରେ ରଖାଯାଇଛି ଏବଂ (ii) ଦୁଇଟି ତନ୍ତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ଘର୍ଷଣ (mechanical rubbing) । ଉଭୟ କ୍ଷେତ୍ରରେ ସେମାନଙ୍କର ତାପମାତ୍ରାରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ କିନ୍ତୁ ଏହାକୁ ଶୂନ୍‌ତମ ନିୟମ ଦ୍ୱାରା ବୁଝାଯାଇ ପାରିବ ନାହିଁ । ଏହିଭଳି ପ୍ରକ୍ରିୟା ବୁଝାଇବାକୁ ତାପଶକ୍ତି ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଥମ ନିୟମ ସ୍ୱୀକୃତି (postulate) କରାଯାଇଥିଲା ।



ଟିପ୍ପଣୀ

ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଥମ ନିୟମ, ବାସ୍ତବରେ ଏକ ତାପଗତୀୟ ତନ୍ତ୍ର ନିମିତ୍ତ ଶକ୍ତି ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ । ଏହା ଅନୁସାରେ, **ଏକ ତାପଗତୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଗୋଟିଏ ତନ୍ତ୍ରର ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତିର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଉଛି ଏଥିରେ ପ୍ରୟୋଗ ହୋଇଥିବା ତାପ ଏବଂ ଏହା ଉପରେ ପ୍ରୟୋଗ ହୋଇଥିବା କାର୍ଯ୍ୟର ସମଷ୍ଟି ।**

ମନେକର, ଗୋଟିଏ ତନ୍ତ୍ରରେ DQ ପରିମାଣର ତାପ ପ୍ରୟୋଗ ହୋଇଛି ଏବଂ DW ପରିମାଣର କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦିତ ହୋଇଛି । ତେଣୁ ତାପଗତୀୟ ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଥମ ନିୟମାନୁସାରେ, ତନ୍ତ୍ରର ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି ବୃଦ୍ଧି ହେଉଛି,

$$DU = DQ - DW \qquad (11.3a)$$

ଏହା ତାପଗତୀୟ ବିଜ୍ଞାନର ଗାଣିତିକ ରୂପ । ଏଠାରେ DQ, DU ଏବଂ DW ସମସ୍ତେ SI ଏକକରେ ଅଛନ୍ତି ।

ତାପଗତୀୟ ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଥମ ନିୟମକୁ ବିକଳ୍ପ ଭାବରେ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ ।

$$DQ = DU + DW \qquad (11.3b)$$

DQ, DU ଏବଂ DW ର ଚିହ୍ନ ନିମ୍ନଲିଖିତ ଚିହ୍ନ ସୂଚି ରୀତି (sign convention) ରୁ ଜଣାଯାଏ :

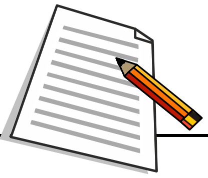
1. ଏକ ତନ୍ତ୍ର ଦ୍ୱାରା ସଂପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟ (DW) କୁ ପଜିଟିଭ୍ କୁହାଯାଏ । ପକ୍ଷାନ୍ତରେ ଏକ ତନ୍ତ୍ର ଉପରେ ସଂପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟକୁ ନେଗେଟିଭ୍ କୁହାଯାଏ । ଏକ ତନ୍ତ୍ର ସଂପ୍ରସାରିତ ହେଲେ କାର୍ଯ୍ୟ ପଜିଟିଭ୍ ଅଟେ । ତନ୍ତ୍ରକୁ ସଂପୀଡ଼ନ କଲେ, ଆୟତନ କମେ, ସଂପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟ ନେଗେଟିଭ୍ ଅଟେ । ସଂପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟ ପ୍ରାରମ୍ଭ କିମ୍ବା ଅନ୍ତିମ ତାପଗତିକ ଅବସ୍ଥା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ନାହିଁ; ଏହା ନିର୍ଭର କରେ ଏକ ପରିବର୍ତ୍ତନ ନିମିତ୍ତ ଅନୁସୃତ ପଥ ଉପରେ ।

2. ଏକ ତନ୍ତ୍ର ଦ୍ୱାରା ଲବ୍ଧ (ଏଥିରେ ଯୋଗ ହୋଇଥିବା) ତାପକୁ ଯୁକ୍ତାତ୍ମକ ନିଆଯାଏ । ପକ୍ଷାନ୍ତରେ ତନ୍ତ୍ର ଦ୍ୱାରା କ୍ଷୟ ହୋଇଥିବା ତାପକୁ ନେଗେଟିଭ୍ ଭାବେ ନିଆଯାଏ ।

3. ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତିର ବୃଦ୍ଧିକୁ ପଜିଟିଭ୍ ଏବଂ ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତିର ହ୍ରାସକୁ ନେଗେଟିଭ୍ କୁହାଯଏ । ଏକ ତନ୍ତ୍ରକୁ ଅବସ୍ଥା 1 ରୁ ଅବସ୍ଥା 2 କୁ ନେଲେ, ଏହା ଦେଖାଯାଉଛି ଯେ ଉଭୟ DQ ଏବଂ DW ନିର୍ଭର କରୁଛନ୍ତି ରୂପାନ୍ତରର ଯାତ୍ରା ପଥ ଉପରେ । ପକ୍ଷାନ୍ତରେ, ପାର୍ଥକ୍ୟ ($DQ - DW$) ଯାହାକି DU ସୂଚାଉଛି, ରୂପାନ୍ତରର ସମସ୍ତ ପଥ ନିମିତ୍ତ ସମାନ ରହେ । ତେଣୁ ଆମେ କହୁ ଯେ ଏକ ତନ୍ତ୍ରର ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତିର ପରିବର୍ତ୍ତନ DU ତାପଗତୀୟ ରୂପାନ୍ତର ନିମିତ୍ତ ଅନୁସୃତ ପଥ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ନାହିଁ ।

11.4.1. ତାପଗତୀୟ ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଥମ ନିୟମର ସୀମା (Limitation) :

ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଥମ ନିୟମଟି ତାପ ଶକ୍ତି ଏବଂ ଶକ୍ତିର ଅନ୍ୟ ରୂପମାନଙ୍କର ତୁଲ୍ୟତା ସଂପର୍କରେ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଦିଏ । ଏହି ତୁଲ୍ୟତା ଯୋଗୁଁ ହିଁ ଆମ ଚତୁଃପାର୍ଶ୍ୱସ୍ଥ ପୃଥିବୀ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଛି । ଯେଉଁ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତି ଯୋଗୁଁ ଆମ ଘରେ ଆଲୁଅ ଜଳେ, ଯନ୍ତ୍ର ଚାଲେ ଏବଂ ଟ୍ରେନ୍ ଗତି କରେ ତାହା ଜୀବାଶ୍ମ ଜାଳେଣୀର ଦହନରୁ ନିର୍ଗତ ତାପଶକ୍ତି କିମ୍ବା ଆଣବିକ ଜାଳେଣୀରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ଏକ ଦୃଷ୍ଟିରୁ, ଏହା ସାର୍ବଜନୀନ । ଉଚ୍ଚତା ବୃଦ୍ଧି ଯୋଗୁଁ ତାପମାତ୍ରାର ହ୍ରାସ, ଉଚ୍ଚ ବାୟୁମଣ୍ଡଳରେ ରୁଦ୍ଧତାପୀ ସ୍ଖଳନ ହାର (Adiabatic lapse rate) ଏଥିରୁ ବୁଝାଯାଏ । ପ୍ରବାହ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଏବଂ ରାସାୟନିକ ସମ୍ବନ୍ଧମାନଙ୍କରେ ଏହାର ପ୍ରୟୋଗ ଅତି ଚମତ୍କାର ।



ଟିପ୍ପଣୀ

ନିମ୍ନଲିଖିତ ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନ ଚିନ୍ତା କର :

- ତୁମେ ଜାଣିଛ ଯେ ଏକ ଉତ୍ତପ୍ତ ବସ୍ତୁରୁ ଏକ ଶୀତଳ ବସ୍ତୁକୁ ସର୍ବଦା ତାପ ପ୍ରବାହିତ ହୁଏ । କିନ୍ତୁ ଏକ ଶୀତଳ ବସ୍ତୁରୁ ଏକ ଉତ୍ତପ୍ତ ବସ୍ତୁକୁ ତାପ ପ୍ରବାହ ପ୍ରଥମ ନିୟମ ବାରଣ କରି ନାହିଁ । ଏହାର ଅର୍ଥ ତାପ ପ୍ରବାହର ଦିଗ ନିର୍ଦ୍ଦେଶ କରିବାରେ ଏହି ନିୟମ ଅକ୍ଷମ ।

- ତୁମେ ଜାଣିଛ ଯେ ଗୋଟିଏ ଗୁଳି (bullet) ଲକ୍ଷ୍ୟସ୍ଥଳ ଭେଦ କଲେ, ଗୁଳିର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ତାପରେ ପରିଣତ ହୁଏ । କିନ୍ତୁ ଲକ୍ଷ୍ୟସ୍ଥଳରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ତାପ କାହିଁକି ଗତିଜ ଶକ୍ତିରେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହୋଇ ଗୁଳିକୁ ଉଡ଼ାଇ ପାରିବ ନାହିଁ ସେ ସଂପର୍କରେ ଏହି ନିୟମ କିଛି ସୂଚନା ଦିଏ ନାହିଁ । ଏହାର ଅର୍ଥ କେଉଁ ଅବସ୍ଥାରେ ତାପକୁ କାର୍ଯ୍ୟରେ ପରିଣତ କରାଯାଇପାରିବ, ତାହା ଏହି ନିୟମରୁ ଜାଣିହେବ ନାହିଁ । ଆହୁରି ମଧ୍ୟ, କେତେ ପରିମାଣର ତାପ କାର୍ଯ୍ୟରେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହୋଇପାରିବ, ତା'ର ସୂଚନା ମଧ୍ୟ ଦେବା ଏହା ପକ୍ଷରେ ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ ।

ଟିକିଏ ପରେ ନିମ୍ନଲିଖିତ ପ୍ରଶ୍ନମାନଙ୍କର ଉତ୍ତର ଦିଅ ।

ପାଠଗତ ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ 11.2

1. ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନ ପୂରଣ କର :

1.(i) ଏକ ତନ୍ତ୍ରର ଅଣୁମାନଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଏବଂ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିର ସମଷ୍ଟିକୁ ଏହାର .... କୁହାଯାଏ ।

(ii) ସଂପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟ = – W ସୂଚାଉଛି ଯେ ତନ୍ତ୍ର .... କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦିତ ହୋଇଚି ।

2. ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଥମ ନିୟମ କହୁଛି ଯେ....

11.5 ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ

ତୁମେ ଜାଣ ଯେ ତାପ ପ୍ରବାହର ଦିଗ ନିରୂପଣରେ ଏବଂ କେତେ ପରିମାଣର ତାପକୁ କାର୍ଯ୍ୟରେ ରୂପାନ୍ତର କରାଯାଇପାରିବ, ତାହା ଜାଣିବାରେ ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଥମ ନିୟମର ସ୍ୱାଭାବିକ (inherent) ସୀମା ରହିଛି । ତେଣୁ ତୁମ ମନରେ ପ୍ରଶ୍ନ ଉଠିବା ସ୍ୱାଭାବିକ : ତାପ ସଂପୂର୍ଣ୍ଣ ଭାବେ କାର୍ଯ୍ୟରେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହୋଇ ପାରିବ କି ? କେଉଁ ସର୍ତ୍ତରେ ଏହା ରୂପାନ୍ତର ହୁଏ ? ଏଭଳି ସବୁ ପ୍ରଶ୍ନର ଉତ୍ତର ଅଛି ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମର ସ୍ୱୀକାରରେ । ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ ବିଭିନ୍ନ ରୂପରେ କୁହାଯାଇପାରେ । ଅବଶ୍ୟ ଏଠାରେ ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ ପାଇଁ କେଲ୍‌ଭିନ୍ - ପ୍ଲାଙ୍କ (Kelvin-Planck) ଏବଂ କ୍ଲସିୟସ୍ (Claussius) କଥନ (statement) ମାନ ଅଧ୍ୟୟନ କରିବା ।

କେଲ୍‌ଭିନ୍ - ପ୍ଲାଙ୍କ କଥନ (Kelvin-Planck's Statement) ତାପୀୟ ଇଞ୍ଜିନ୍‌ମାନଙ୍କ କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦନ କ୍ଷମତା ଉପରେ ପର୍ଯ୍ୟବେସିତ । (ପରବର୍ତ୍ତୀ ବିଭାଗରେ ତାପୀୟ ଇଂଜିନ୍ ସଂପର୍କରେ ଆଲୋଚନା କରାଯାଇଛି) ଏକ ତାପୀୟ ଇଂଜିନ୍‌ରେ, କାର୍ଯ୍ୟରତ ପଦାର୍ଥ ଉତ୍ସ (ଉତ୍ତପ୍ତ ବସ୍ତୁ)ରୁ ତାପ ଆହରଣ କରେ, ଏହାର ଏକ ଅଂଶକୁ କାର୍ଯ୍ୟରେ ରୂପାନ୍ତର କରେ ଏବଂ ଅବଶିଷ୍ଟ ତାପକୁ ଗୋଟିଏ କୁଣ୍ଡ (sink) (ପାରିପାର୍ଶ୍ୱ)କୁ ବର୍ଜନ (reject) କରେ । ଏପରି ଇଂଜିନ୍ ନାହିଁ ଯାହାକି କିଛି ପରିମାଣର ତାପ କୁଣ୍ଡରେ ବିସର୍ଜନ ନ କରି ସମୁଦାୟ ତାପକୁ କାର୍ଯ୍ୟରେ ପରିଣତ କରେ । ଏହି ମନ୍ତବ୍ୟ ଯୋଗୁଁ କେଲ୍‌ଭିନ୍ ଓ ପ୍ଲାଙ୍କ ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ ଏହି ରୂପରେ ଦେଲେ :

ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ତାପମାତ୍ରାରେ ଗୋଟିଏ ଭଣ୍ଡାର (reservoir) ରୁ ତାପ ଆହରଣ କରି ସମୁଦାୟ ତାପକୁ କାର୍ଯ୍ୟରେ ରୂପାନ୍ତର କରିବା ଯେ କୌଣସି ତନ୍ତ୍ର ପକ୍ଷରେ ଅସମ୍ଭବ ।

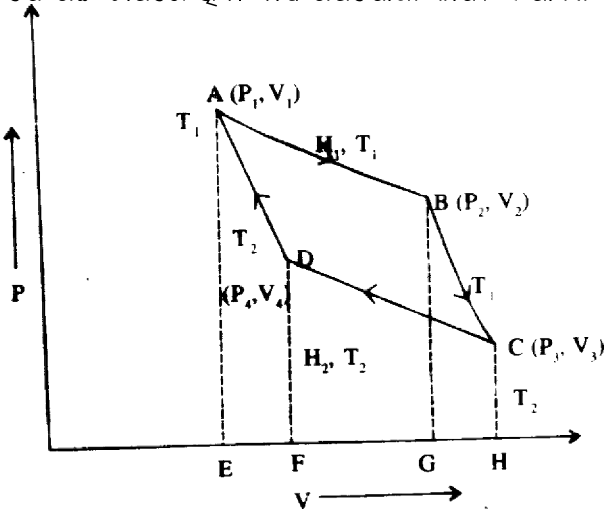
ତାପ ଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମର କ୍ଲସିୟସ୍ କଥନ ଏକ ରେଫ୍ରିଜେରେଟର୍‌ର କାର୍ଯ୍ୟକାରିତା ଉପରେ ପର୍ଯ୍ୟବେସିତ । ବିପରୀତ ଦିଗରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଥିବା ଏକ ତାପୀୟ ଇଂଜିନ୍ ହେଉଛି ରେଫ୍ରିଜରେଟର । ଏହା ଉପରେ ବାହ୍ୟ କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦନ ହେଲେ, ଏହା ଶୀତଳତର ବସ୍ତୁରୁ ଉଷ୍ଣତର ବସ୍ତୁକୁ ତାପ ସ୍ଥାନାନ୍ତର କରେ । ତନ୍ତ୍ର ଉପରେ ହେଉଥିବା ବାହ୍ୟ କାର୍ଯ୍ୟର ଧାରଣା ହିଁ ଏଠାରେ ମୁଖ୍ୟ ବିଷୟ । ଏହି ବାହ୍ୟ କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦନ ନିମିତ୍ତ, ଏକ ବାହ୍ୟ ଉତ୍ସରୁ ଶକ୍ତି ଯୋଗାଣ ହେବା ନିଶ୍ଚିତ । ଏହି ମନ୍ତବ୍ୟ ଯୋଗୁଁ କ୍ଲସିୟସ ନିମ୍ନଲିଖିତ ରୂପରେ ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ ଉଲ୍ଲେଖ କଲେ ।

କୌଣସି ବାହ୍ୟ କାର୍ଯ୍ୟ ପ୍ରୟୋଗ ନ କରି ଏକ ଶୀତଳତର ବସ୍ତୁରୁ ଏକ ଉଷ୍ଣତର ବସ୍ତୁକୁ କେବଳ ମାତ୍ର ତାପ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ କୌଣସି ପ୍ରକ୍ରିୟା ପକ୍ଷରେ ଅସମ୍ଭବ ।

ତେଣୁ ତାପୀୟ ଇଂଜିନ୍ ଓ ରେଫ୍ରିଜେରେଟର ଭଳି ବ୍ୟାବହାରିକ ଉପାଦାନରେ ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମର ଅନନ୍ୟ (unique) ଭୂମିକା ଅଛି ।

11.5.1 କାର୍ନୋଟ୍ ଚକ୍ର (Carnot Cycle)

ତୁମେ ଦେଖିଥିବ ଯେ ଘୋଡ଼ଣୀ ଥିବା ଏକ ପାତ୍ରରେ ପାଣି ଫୁଟାଇଲେ, ନିର୍ଗତ ବାଷ୍ପ ଦ୍ୱାରା ଘୋଡ଼ଣୀଟି ବାହାରି ଯାଏ । ଏହା ଦର୍ଶାଉଛି ଯେ ଉଚ୍ଚ ଚାପରେ ଥିବା ବାଷ୍ପ ଉପଯୋଗୀ କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦନ କରିପାରେ । **ତାପକୁ କାର୍ଯ୍ୟରେ ରୂପାନ୍ତର କରୁଥିବା ଏକ ଯନ୍ତ୍ରକୁ ତାପୀୟ ଇଂଜିନ୍ କୁହାଯାଏ ।** ଆମ ଦୈନନ୍ଦିନ ଜୀବନରେ ବ୍ୟବହୃତ ଆଧୁନିକ ଇଂଜିନ୍‌ମାନ ତାପୀୟ ଇଂଜିନ୍‌ର ନିୟମ ଉପରେ ପର୍ଯ୍ୟବେସିତ । ଏମାନେ ତିନି ପ୍ରକାରର : ବାଷ୍ପୀୟ ଇଂଜିନ୍, ଆର୍ନ୍ତଦହନ ଇଂଜିନ୍ ଏବଂ ଗ୍ୟାସ ଟର୍ବାଇନ । ଅବଶ୍ୟ, ସେମାନଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟକାରିତା କାର୍ନୋଟ୍‌ଙ୍କ ଉତ୍‌କ୍ରମଣୀୟ ଇଂଜିନ୍ ସଂଜ୍ଞାରେ ବୁଝାଯାଇପାରିବ । ଏ ସଂପର୍କରେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଶିକ୍ଷା କରାଯାଉ ।



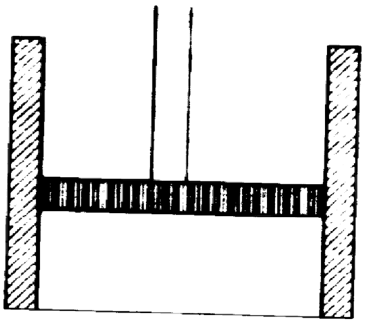
ଚିତ୍ର 11.4 କାର୍ନୋଟ୍‌ଚକ୍ରର ସୂଚକ ଆରେଖ

କାର୍ନୋଟ୍ ଚକ୍ରରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥରେ (woring substance) ଚାରୋଟି ସଂସାଧନ (operation) କରାଯାଏ : (a) ସମତାପୀୟ ସଂପ୍ରସାରଣ (b) ରୁଦ୍ଧତାପୀୟ ସଂପ୍ରସାରଣ (c) ସମତାପୀୟ ସଂପୀଡ଼ନ (d) ରୁଦ୍ଧତାପୀୟ ସଂପୀଡ଼ନ । ଏହିଭଳି ଏକ ଚକ୍ର ନିମିତ୍ତ P–V ଆରେଖ ଚିତ୍ର 11.4 ରେ ଦର୍ଶାଯାଇଛି ।

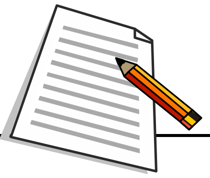
କାର୍ନୋଟ୍‌ଚକ୍ରର ଚାରିଟିଯାକ ସଂସାଧନ ବର୍ଣ୍ଣନା କରିବାକୁ, ସ୍ତମ୍ଭକରେ ଏକ ଗ୍ରାମ୍‌ମୋଲ୍‌ର କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥ ଭର୍ତ୍ତି କରାଯାଉ (ଚିତ୍ର 11.5) । ପଦାର୍ଥର ପ୍ରାରମ୍ଭ ଅବସ୍ଥା ସୂଚକ ଆରେଖରେ A ବିନ୍ଦୁରେ ସୂଚାଯାଉଛି । ଏହି ବିନ୍ଦୁରେ, ପଦାର୍ଥଟିର ତାପମାତ୍ରା T_i, ଚାପ, P_i ଓ ଆୟତନ V_i

(a) ସମତାପୀୟ ସଂପ୍ରସାରଣ :

ସ୍ତମ୍ଭକକୁ ଉତ୍ସ ସହିତ ତାପୀୟ ସଂସ୍ପର୍ଶରେ ରଖାଯାଉ ଏବଂ ସଂପ୍ରସାରଣ କରିବାକୁ ଛାଡ଼ି ଦିଆଯାଉ । କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥର



ଚିତ୍ର 11.5 କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥ ଥାଇ ସ୍ତମ୍ଭକ



ଆୟତନ V_2 କୁ ବୃଦ୍ଧି ହୁଏ । ଏହିପରି, କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥ ପିଷ୍ଟନ୍‌କୁ ଉପରକୁ ଉଠାଇବାରେ କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦନ କରେ । ତେଣୁ, କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥର ତାପମାତ୍ରା ହ୍ରାସ ପାଇବା କଥା । କିନ୍ତୁ ଏହା ଉତ୍ସ ସହିତ ତାପୀୟ ସଂସ୍ପର୍ଶରେ ଅଛି । ତେଣୁ ଏହା T_1 ତାପମାତ୍ରାରେ H_1 ପରିମାଣର ତାପ ଅବଶୋଷଣ (absorb) କରିବ । ଏହା ବିନ୍ଦୁ B ଦ୍ୱାରା ସୂଚାଯାଇଛି । B ରେ ଚାପ ଓ ଆୟତନ ଯଥାକ୍ରମେ P_2 ଓ V_2 ଅଟେ । ସୂଚକ ଆରେଖ (ଚିତ୍ର 11.4) ରେ ତୁମେ ଦେଖିବ ଯେ A ରୁ B କୁ ଯିବାରେ, ତନ୍ତ୍ରର ତାପମାତ୍ରା ସ୍ଥିର ରହେ ଏବଂ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥ ସଂପ୍ରସାରିତ ହୁଏ । ଆମେ ଏହାକୁ **ସମତାପୀୟ ସଂପ୍ରସାରଣ** ପ୍ରକ୍ରିୟା କହୁ ।

ସମତାପୀୟ ସଂପ୍ରସାରଣ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଅବଶୋଷିତ ତାପର ପରିମାଣ H_1 । ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଥମ ନିୟମାନୁସାରେ, ତାପମାତ୍ରା T_1 ରେ A ରୁ B ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସମତାପୀୟ ସଂପ୍ରସାରଣ ନିମିତ୍ତ ଗ୍ୟାସ ଦ୍ୱାରା ସଂପାଦିତ ବାହ୍ୟ କାର୍ଯ୍ୟର ପରିମାଣ H_1 ସହିତ ସମାନ ହେବ । ମନେକର ସମତାପୀୟ ସଂପ୍ରସାରଣ AB ବେଳେ ଗ୍ୟାସ୍ ଦ୍ୱାରା ସଂପାଦିତ ବାହ୍ୟ କାର୍ଯ୍ୟ W । ତେବେ ଏହା କ୍ଷେତ୍ରଫଳ AB GEA ସହିତ ସମାନ ହେବ ।

ତେଣୁ, W_1 = କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ABGEA

(b) ରୁଦ୍ଧତାପୀୟ ସଂପ୍ରସାରଣ : ତା'ପରେ ସ୍ତମ୍ଭକଟି ଉତ୍ସଠାରୁ ଅଲଗା କରି ଏକ ଆଦର୍ଶ କୁପରିବାହୀ ଆଧାର (Stand) ରେ ରଖାଯାଉ । ଏହା ପିଷ୍ଟନ୍ ଉପରେ ଭାର P_3 କୁ ଆହୁରି କମାଏ । ସଂପ୍ରସାରଣ ପୁରାପୁରି ରୁଦ୍ଧତାପୀୟ କାରଣ ତନ୍ତ୍ର ମଧ୍ୟକୁ ତାପ ପ୍ରବେଶ କରି ପାରିବ ନାହିଁ କି ନିଷ୍କ୍ରାନ୍ତ ହୋଇ ପାରିବ ନାହିଁ । ତେଣୁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥ ପିଷ୍ଟନ୍‌କୁ ଉପରକୁ ଉଠାଇବା ଫଳରେ ଏହାର ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି ବିନିମୟରେ ବାହ୍ୟ କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦନ କରେ । ତେଣୁ ତାପମାତ୍ରା ହ୍ରାସ ପାଏ । କୁଣ୍ଡର ତାପମାତ୍ରା T_2 କୁ ହ୍ରାସ ପାଇବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଗ୍ୟାସକୁ ରୁଦ୍ଧତାପୀୟ ସଂପ୍ରସାରଣ ପାଇଁ ଛାଡ଼ି ଦିଆଯାଉ । ସୂଚକ ଆରେଖରେ ଏହି ରୁଦ୍ଧତାପୀୟ ବକ୍ର ଲେଖ BC ଦ୍ୱାରା ସୂଚାଯାଇଛି । ଆମେ ଏହାକୁ **ରୁଦ୍ଧତାପୀୟ ସଂପ୍ରସାରଣ** କହୁ । ଯଦି C ବିନ୍ଦୁରେ ଚାପ ଓ ଆୟତନ ଯଥାକ୍ରମେ P_3 ଓ V_3 ହୁଏ, ଏବଂ B ରୁ C ମଧ୍ୟରେ ପଦାର୍ଥ ଦ୍ୱାରା ସଂପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟ W_2 ହୁଏ, ତେବେ

W_2 = କ୍ଷେତ୍ରଫଳ BCHGB

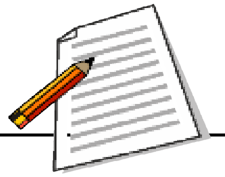
(c) ସମତାପୀୟ ସଂପୀଡ଼ନ :

ସ୍ତମ୍ଭକକୁ କୁପରିବାହୀ ଆଧାରରୁ କାଢ଼ି ନିଅ ଏବଂ କୁଣ୍ଡର ତାପମାତ୍ରା T_2 ରେ ରଖ । ଗ୍ୟାସକୁ ମନ୍ଥର ଗତିରେ ସଂପୀଡ଼ନ କରିବାକୁ ଚାପ ଓ ଆୟତନ ଯଥାକ୍ରମେ P_4 ଓ V_4 ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପିଷ୍ଟନ୍ ଉପରେ ଭାର (ଚାପ) ବୃଦ୍ଧି କର । ସୂଚକ ଆରେଖରେ ଏହା D ବିନ୍ଦୁ ଭାବେ ସୂଚାଯାଇଛି (ଚିତ୍ର 11.4) । ସଂପୀଡ଼ନ ଯୋଗୁଁ ଉତ୍ପନ୍ନ ତାପ (H_2) କୁଣ୍ଡକୁ ଚାଲିଯିବ । ଏହିଭଳି ତନ୍ତ୍ରର ତାପମାତ୍ରାରେ କିଛି ପରିବର୍ତ୍ତନ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଏହାକୁ ସମତାପୀୟ ସଂପୀଡ଼ନ ପ୍ରକ୍ରିୟା କୁହାଯାଏ । ଏହା ବକ୍ରଲେଖ CD ରେ ଦର୍ଶାଯାଇଛି (ଚିତ୍ର 11.4) । ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ କୁଣ୍ଡକୁ ବର୍ଜିତ (rejected) ତାପ (H_2) ସମାନ ହେବ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥ ଉପରେ ସଂପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟ (W_3) ସହିତ । ତେଣୁ

W_3 = କ୍ଷେତ୍ରଫଳ CHFDC

(d) ରୁଦ୍ଧତାପୀୟ ସଂପୀଡ଼ନ :

ପୁନର୍ବାର ତନ୍ତ୍ରକୁ କୁପରିବାହୀ ଆଧାର ଉପରେ ରଖ । ପିଷ୍ଟନ୍ ଉପରେ ଭାର ଧୀରେ ଧୀରେ ବୃଦ୍ଧି କର । ପଦାର୍ଥଟିରେ ରୁଦ୍ଧତାପୀୟ ସଂପୀଡ଼ନ ହେବ । ତାପମାତ୍ରା T_1 ବୃଦ୍ଧି ହୋଇ ପଦାର୍ଥଟି ପ୍ରାରମ୍ଭ ଚାପ P_1



ଓ ଆୟତନ V_1 କୁ ଫେରିବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହି ସଂପୀଡ଼ନ ଚାଲୁ ରହେ । ଏହା ଏକ ରଦ୍ଧତାପୀୟ ସଂପୀଡ଼ନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଏବଂ ସୂଚକ ଆରେଖରେ ଏହା ବକ୍ରଲେଖ DA ଦ୍ୱାରା ସୂଚାଯାଇଛି (ଚିତ୍ର 11.4) । ମନେକର, D ଠାରୁ A ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହି ରଦ୍ଧତାପୀୟ ସଂପୀଡ଼ନ ଫଳରେ ସଂପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟ ହେଉଛି W_4 । ତେବେ

W_4 = କ୍ଷେତ୍ରଫଳ DFEAD

ଏହି ସଂସାଧନ ଚକ୍ର ମଧ୍ୟରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥ ଉତ୍ସରୁ H_1 ପରିମାଣର ତାପ ଗ୍ରହଣ କରେ ଏବଂ H_2 ପରିମାଣର ତାପ ବର୍ଜନ କରେ । ତେଣୁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥ ଅବଶୋଷଣ କରୁଥିବା ଉଦ୍‌ବୃତ୍ତ (net) ତାପର ପରିମାଣ, $DH = H_1 - H_2$

ଏକ ପୂର୍ଣ୍ଣଚକ୍ରରେ ଇଂଜିନ୍ ଦ୍ୱାରା ସଂପାଦିତ ଉଦ୍‌ବୃତ୍ତ କାର୍ଯ୍ୟ

W = କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ABCHEA – କ୍ଷେତ୍ରଫଳ CHEADC = କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ABCD

ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ଚକ୍ରରେ ସଂପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟର ପରିମାଣ PV ଆରେଖରେ ବକ୍ରର କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ଦ୍ୱାରା ସୂଚାଯାଏ ।

ତୁମେ ପଢ଼ିଛ ଯେ ପଦାର୍ଥର ପ୍ରାରମ୍ଭ ଅବସ୍ଥା ଓ ଅନ୍ତିମ ଅବସ୍ଥା ପରସ୍ପର ସହିତ ସମାନ । ଏହାର ଅର୍ଥ, ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହେ । ତେଣୁ ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଥମ ନିୟମାନୁସାରେ,

$W = H_1 - H_2$

ତେଣୁ, ତନ୍ତ୍ର ଦ୍ୱାରା ତାପ କାର୍ଯ୍ୟରେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହୋଇଛି, ଏବଂ କେବଳ ଚକ୍ରର ପୁନରାବୃତ୍ତି କରାଇ ଯେକୌଣସି ପରିମାଣର କାର୍ଯ୍ୟ ଉପଲବ୍ଧ କରାଯାଇପାରିବ ।

11.7.2 କାର୍ନୋଟ୍ ଇଂଜିନ୍‌ର ଦକ୍ଷତା (Efficiency of carnot Engine) :

ଗୋଟିଏ ଚକ୍ରରେ କାର୍ଯ୍ୟରେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହୋଇଥବା ତାପର ପରିମାଣ ଓ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥ ଉତ୍ସରୁ ଗ୍ରହଣ କରିଥିବା ତାପର ଅନୁପାତ ହେଉଛି ଦକ୍ଷତାର ସଂଜ୍ଞା । ଏହାକୁ h ଲେଖାଯାଏ ।

$$h = \frac{\text{କାର୍ଯ୍ୟରେ ରୂପାନ୍ତରିତ ତାପ}}{\text{ଉତ୍ସରୁ ଗ୍ରହଣ ହୋଇଥିବା ତାପ}}$$

ବା, $$h = \frac{H_1 - H_2}{H_1} = 1 - \frac{H_2}{H_1}$$

ଏହା ଦର୍ଶାଯାଇପାରିବ ଯେ, କାର୍ନୋଟ୍ ଇଂଜିନ୍‌ରେ

$$\frac{H_2}{H_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

ତେଣୁ $h = 1 - T_2 / T_1$

ଲକ୍ଷ୍ୟ କର, କାର୍ନୋଟ୍ ଇଂଜିନ୍‌ର ଦକ୍ଷତା କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥର ପ୍ରକୃତି ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ନାହିଁ । ପୁଣି କୁଣ୍ଡକୁ ଯଦି ଆଦୌ ତାପ ବର୍ଜନ ହୁଏ ନାହିଁ ତେବେ h ର ମୂଲ୍ୟ ଏକ ହେବ । କିନ୍ତୁ H_2 ଶୂନ୍ ହେବାକୁ T_2 ମଧ୍ୟ ଶୂନ ହେବାକୁ ହେବ । ଏହାର ଅର୍ଥ, ଯେତେବେଳେ $T_2 = 0$ ହେବ, ସେତେବେଳେ କେବଳ ଦକ୍ଷତା h ର ମୂଲ୍ୟ 100% ହୋଇପାରିବ । ଉତ୍ତପ୍ତ ଉତ୍ସରୁ ଗୃହୀତ ସମସ୍ତ ତାପ କାର୍ଯ୍ୟରେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହୋଇଛି । ଏହା ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମର ବିରୋଧାଚରଣ କରୁଛି । ତେଣୁ ଏକ ବାଷ୍ପୀୟ ଇଂଜିନ୍ କେବଳ ଦୁଇଟି ସସୀମ ତାପ ପାର୍ଥକ୍ୟରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିପାରିବ ଏବଂ ଏହାର ଦକ୍ଷତା ସର୍ବଦା ଏକରୁ କମ୍ ହେବ ।

ଏହା ମଧ୍ୟ ଯୁକ୍ତି କରାଯାଇପାରେ ଯେ କାର୍ନୋଟ୍ ଚିତ୍ର ଏକ ଉଦ୍‌କ୍ରମଣୀୟ ଚକ୍ର ହୋଇଥିବାରୁ, ଏହାର ଦକ୍ଷତା ସର୍ବାଧିକ; ଦୁଇ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ତାପମାତ୍ରାରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ କୌଣସି ଇଂଜିନ୍ କାର୍ନୋଟ୍ ଇଂଜିନ୍‌ଠାରୁ ଅଧିକ ଦକ୍ଷ ହୋଇ ପାରିବ ନାହିଁ ।

11.7.3 କାର୍ନୋଟ୍ ଇଂଜିନ୍‌ର ସୀମା

ତୁମେ କାର୍ନୋଟ୍ ଚକ୍ର ସମତାପୀୟ ଓ ରଦ୍ଧତାପୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଭାବରେ ଅଧ୍ୟୟନ କରିଛ ।ଏଠାରେ ଏହା ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିବା ଗୁରୁତ୍ୱପୂର୍ଣ୍ଣ ଯେ ପିଷ୍ଟନ ଅତି ଧୀରେ ଧୀରେ ଗତି କଲେ ହିଁ ସମତାପୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସଂପାଦନ ସମ୍ଭବ । ଏହାର ଅର୍ଥ, କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥରୁ ଉତ୍ସକୁ ତାପ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ନିମିତ୍ତ ଯଥେଷ୍ଟ ସମୟ ଥିବା ଆବଶ୍ୟକ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ରଦ୍ଧତାପୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ତାପ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ନ ହେବା ପାଇଁ ପିଷ୍ଟନ୍‌କୁ ଅତି କ୍ଷିପ୍ର ବେଗରେ ଗତି କରାଯାଏ । ଏହି ଅନିବାର୍ଯ୍ୟ ସର୍ତ୍ତପୂରଣ ବାସ୍ତବ କ୍ଷେତ୍ରରେ ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ । ଏହି କାରଣମାନଙ୍କ ଯୋଗୁଁ, ସମସ୍ତ ବ୍ୟାବହାରିକ ଇଂଜିନ୍‌ର ଦକ୍ଷତା କାର୍ନୋଟ୍ ଇଂଜିନ୍‌ଠାରୁ କମ୍ ।

ପାଠଗତ ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ 11.2

1. ନିମ୍ନଲିଖିତ ଉକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ଠିକ୍ କି ଭୁଲ୍ ଉଲ୍ଲେଖ କର ।

(i) ଗୋଟିଏ କାର୍ନୋଟ୍ ଇଂଜିନ୍‌ରେ ଏକ ଉତ୍ତପ୍ତ ଉତ୍ସରୁ ଏକ ଆଦର୍ଶ ଗ୍ୟାସ ଦ୍ୱାରା ଯେତେବେଳେ ତାପ ଗ୍ରହଣ କରାଯାଏ, ଉତ୍ସର ତାପମାତ୍ରା ହ୍ରାସ ପାଏ ।

....

(ii) କାର୍ନୋଟ୍ ଇଂଜିନ୍‌ରେ, କୁଣ୍ଡର ତାପମାତ୍ରାର ହ୍ରାସ କଲେ ଇଂଜିନ୍‌ର ଦକ୍ଷତା ମଧ୍ୟ ହ୍ରାସ ପାଏ ।

....

2.(i) 100 K ଓ 500 K ମଧ୍ୟରେ ଏବଂ T K ଓ 1000 K ମଧ୍ୟରେ ଏକ କାର୍ନୋଟ୍ ଇଂଜିନ୍‌ର ଦକ୍ଷତା ସମାନ । T ହିସାବ କର ।

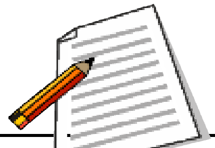
....

(ii) ଏକ ଅଜଣା ତାପମାତ୍ରା T ଏବଂ ବରଫ ବିନ୍ଦୁ ମଧ୍ୟରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ଏକ କାର୍ନୋଟ୍ ଇଂଜିନ୍‌ର ଦକ୍ଷତା ହେଉଛି 0.68 । T ର ମୂଲ୍ୟ ହିସାବ କର ।

....

ତୁମେ କ'ଣ ଶିଖିଲ

- ତାପ ଶକ୍ତିର ଏପରି ଏକ ରୂପ ଯାହା କି ଆମ ଠାରେ ଉଷ୍ଣତା ବୋଧ ସୃଷ୍ଟି କରେ ।
- ଉଚ୍ଚତର ତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଏକ ବସ୍ତୁରୁ ନିମ୍ନତର ତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଏକ ବସ୍ତୁକୁ ତାପମାତ୍ରା ପାର୍ଥକ୍ୟ ଯୋଗୁଁ ଯେଉଁ ଶକ୍ତି ପ୍ରବାହିତ ହୁଏ, ତାହାକୁ ତାପଶକ୍ତି କୁହାଯାଏ ।
- ତାପଶକ୍ତିର ଅତି ସାଧାରଣ ଜଣା ଏକକ ହେଉଛି କ୍ୟାଲୋରି । 1 କ୍ୟାଲୋରି = 4.18J ଏବଂ 1 କିଲୋ କ୍ୟାଲୋରି = 10^3 କ୍ୟାଲୋରି
- ଏକ ତାପଗତିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଗୋଟିଏ ତନ୍ତ୍ରର ଚାପ (P) ର ଆୟତନ ସହିତ ପରିବର୍ତ୍ତନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ପ୍ରଦର୍ଶନ କରୁଥିବା ଏକ ଗ୍ରାଫ୍‌କୁ ସୂଚକ ଆରେଖ କୁହାଯାଏ ।
- ଏକ ଗ୍ୟାସର ସଂପ୍ରସାରଣ କିମ୍ବା ସଂପୀଡ଼ନ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ସଂପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟ ହେଉଛି $P\Delta V = P(V_f - V_i)$



ଟିପ୍ପଣୀ

- ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଶୂନ୍‌ତମ ନିୟମ କହେ ଯେ ଯଦି ଦୁଇଟି ତନ୍ତ୍ର ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବେ ଗୋଟିଏ ତୃତୀୟ ତନ୍ତ୍ର ସହିତ ତାପୀୟ ସନ୍ତୁଳନରେ ଅଛନ୍ତି, ତେବେ ସେମାନେ ପରସ୍ପର ସହିତ ନିଶ୍ଚିତ ତାପୀୟ ସନ୍ତୁଳନରେ ଅଛନ୍ତି ।
- ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁର ଅଣୁମାନଙ୍କ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଓ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିର ସମଷ୍ଟି ହେଉଛି ବସ୍ତୁର ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି । ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି ଓ କାର୍ଯ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ସଂପର୍କ ହେଉଛି $U_i - U_f = -W$
- ତାପ ଗତି ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଥମ ନିୟମାନୁସାରେ, ଗୋଟିଏ ତନ୍ତ୍ରରେ ପ୍ରୟୋଗ ହୋଇଥିବା ତାପଶକ୍ତି ତନ୍ତ୍ରର ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତିର ପରିବର୍ତ୍ତନ ଏବଂ ସଂପାଦିତ ବାହ୍ୟ କାର୍ଯ୍ୟର ସମଷ୍ଟି ସହିତ ସମାନ ।
- ପ୍ରକ୍ରିୟାର ଦିଗ ସଂପର୍କରେ ତାପ ଗତି ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଥମ ନିୟମ କିଛି କହେ ନାହିଁ ।
- ଯେଉଁ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଅନ୍ତିମ ଅବସ୍ଥାରୁ ପ୍ରାରମ୍ଭ ଅବସ୍ଥାକୁ ବିପରୀତ ଦିଗରେ ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତନ କରାଯାଇପାରେ, ତାହାକୁ ଏକ ଉତ୍‌କ୍ରମଣୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା କୁହାଯାଏ ।
- ଯେଉଁ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସମାନ ସନ୍ତୁଳନ ଅବସ୍ଥା ଦେଇ ଅନ୍ତିମ ଅବସ୍ଥାରୁ ପ୍ରାରମ୍ଭ ଅବସ୍ଥାକୁ ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତନ କରାଯାଇପାରିବ ନାହିଁ ତାହାକୁ ଅନୁତ୍‌କ୍ରମଣୀୟ (irreversible) ପ୍ରକ୍ରିୟା କୁହାଯାଏ । ଯେଉଁ ପ୍ରକ୍ରିୟା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ତାପମାତ୍ରାରେ ସଂପାଦିତ ହୁଏ ତାହାକୁ ସମତାପୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା କୁହାଯାଏ ।
- ଯେଉଁ ତାପଗତିକ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସ୍ଥିର ତାପରେ ସଂପାଦିତ ହୁଏ, ତାହାକୁ ରୁଦ୍ଧତାପୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା କୁହାଯାଏ ।
- ଜଡ଼ର ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାକୁ ଏହାର ପ୍ରାବସ୍ଥା କୁହାଯାଏ ଏବଂ ଜଡ଼ର ତିନି ପ୍ରାବସ୍ଥା ଦର୍ଶାଇବାକୁ ଚାପ ଏବଂ ତାପମାତ୍ରାର ଚିତ୍ରକୁ ଏହାର ପ୍ରାବସ୍ଥା ଚିତ୍ର କୁହାଯାଏ ।

ତ୍ରିଃତବିନ୍ଦୁ ଏପରି ଏକ ବିନ୍ଦୁ (ପ୍ରାବସ୍ଥା ଚିତ୍ରରେ) ଯେଉଁଠାରେ ଜଡ଼ର ତିନି ଅବସ୍ଥା ଘନ, ତରଳ ଓ ଗ୍ୟାସ ସହାବସ୍ଥାନ କରିପାରେ । ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ତାପମାତ୍ରା ଓ ଚାପର ମୂଲ୍ୟ ଏହାର ଅଭିଲକ୍ଷଣ (characteristic) ।

- ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମର କେଲଭିନ - ପ୍ଲାଙ୍କ୍ କଥନ ଅନୁସାରେ, ଗୋଟିଏ ଏକୁଟିଆ ତାପ ଉତ୍ସରୁ ନିରବଚ୍ଛିନ୍ନ କାର୍ଯ୍ୟ ଯୋଗାଣ ଅସମ୍ଭବ ।
- ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମର କ୍ଲସିୟସଙ୍କ କଥନ ଅନୁସାରେ, କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥରେ କୌଣସି ବାହ୍ୟ କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦନ ନ କରି ଏକ ଶୀତଳତର ବସ୍ତୁରୁ ଉଷ୍ଣତର ବସ୍ତୁକୁ ତାପ ପ୍ରବାହିତ ହୋଇ ପାରିବ ନାହିଁ ।
- ଏକ ତାପୀୟ ଇଂଜିନ୍‌ର ତିନୋଟି ପ୍ରମୁଖ ଆବଶ୍ୟକତା ହେଉଛି :
  (i) ଏକ ଉତ୍ସ ଯେଉଁଥିରୁ କି ତାପ ଆହରଣ କରାଯାଇପାରିବ ;
  (ii) ଏକ କୁଣ୍ଡ ଯେଉଁଠିକି ତାପ ବର୍ଜନ କରାଯାଇପାରିବ ;
  (iii) କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥ ଯାହାକି ତାପ ଯୋଗାଣ ପରେ ଯାନ୍ତ୍ରିକ କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦନ କରେ ।
- କାର୍ନୋଟ୍ ଇଂଜିନ୍ ଏକ ଆଦର୍ଶ ଇଂଜିନ୍ ଯେଉଁଥିରେ କି କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥ ଚାରୋଟି ସଂସାଧନ କରାଯାଏ । (i) ସମତାପୀୟ ସଂପ୍ରସାରଣ (ii) ରୁଦ୍ଧତାପୀୟ ସଂପ୍ରସାରଣ (iii) ସମତାପୀୟ ସଂପୀଡ଼ନ (iv) ରୁଦ୍ଧତାପୀୟ ସଂପୀଡ଼ନ, ଏହିଭଳି ଏକ ଚକ୍ରକୁ କାର୍ନୋଟ ଚକ୍ର କୁହାଯାଏ ।

ଏକ କାର୍ନୋଟ ଇଂଜିନ୍‌ର ଦକ୍ଷତା,

$h = 1 - \frac{H_2}{H_1}$, ଏଠାରେ H_1 = ଅବଶୋଷିତ ତାପର ପରିମାଣ ଏବଂ H_2 = ବର୍ଜିତ ତାପର ପରିମାଣ

ଟିପ୍ପଣୀ

$= 1 - \frac{T_2}{T_1}$, ଏଠାରେ T_1 = ଉତ୍ସର ତାପମାତ୍ରା ଏବଂ T_2 = କୁଣ୍ଡର ତାପମାତ୍ରା

1 ଦକ୍ଷତା କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପଦାର୍ଥର ଆଚରଣ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ନାହିଁ ।

ପାଠାନ୍ତ ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

1. ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି ଓ ତାପଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ପାର୍ଥକ୍ୟ ଦର୍ଶାଅ ।
2. ସୂଚକ ଆରେଖ କହିଲେ ତୁମେ କ'ଣ ବୁଝ ? ଏକ ଆଦର୍ଶ ଗ୍ୟାସର ସଂପ୍ରସାରଣ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ସଂପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟ ନିମିତ୍ତ ଏକ ବ୍ୟଞ୍ଜକ ନିଗମନ କର ।
3. ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଶୂନ୍‌ତମ ନିୟମ ପ୍ରୟୋଗ କରି ତାପମାତ୍ରାର ସଂଜ୍ଞା ଲେଖ ।
4. ତାପ ଗତି ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଥମ ନିୟମ ଏବଂ ଏହାର ସୀମା, ଉଲ୍ଲେଖ କର ।
5. ସମତାପୀୟ, ସମଚାପୀୟଏବଂ ସମ ଆୟତନୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କି ପାର୍ଥକ୍ୟ ଅଛି ?
6. ତାପ ଗତି ବିଜ୍ଞାନର ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ ଉଲ୍ଲେଖ କର ।
7. ଉଦାହରଣ ସହ ଉତ୍କ୍ରମଣୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଏବଂ ଅନୁତ୍କ୍ରମଣୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା ମଧ୍ୟରେ ପାର୍ଥକ୍ୟ ଦର୍ଶାଅ ।
8. କାର୍ନୋଟ୍ ଚକ୍ର ବୁଝାଅ । ଏହାର ଦକ୍ଷତା ହିସାବ କରିବାକୁ ସୂଚକ ଆରେଖ ବ୍ୟବହାର କର ।
9. ଏକ ତନ୍ତ୍ରରେ ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତିରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହିସାବ କର । ଯେତେବେଳ
   (a) ତନ୍ତ୍ର 2000J ତାପ ଅବଶୋଷଣ କରେ ଏବଂ 500J କାର୍ଯ୍ୟ ଉତ୍ପନ୍ନ କରେ ।
   (b) ତନ୍ତ୍ର 1100J ତାପ ଅବଶୋଷଣ କରେ ଏବଂ ତାହା ଉପରେ 400J କାର୍ଯ୍ୟ ସଂପାଦିତ ହୁଏ ।
10. ଉତ୍ସର ତାପମାତ୍ରା 400K ରେ ଗୋଟିଏ କାର୍ନୋଟ୍ ଇଂଜିନ୍ 200 କ୍ୟାଲୋରି ତାପ ଗ୍ରହଣ କରେ ଏବଂ କୁଣ୍ଡକୁ 150 କ୍ୟାଲୋରି ତାପ ବର୍ଜନ କରେ ।
    (i) କୁଣ୍ଡର ତାପମାତ୍ରା କେତେ ?
    (ii) ଇଂଜିନ୍‌ର ଦକ୍ଷତା ହିସାବ କର ।

ପାଠଗତ ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀର ଉତ୍ତର

11.1. 1. (i) ତାପମାତ୍ରା (ii) C (iii) ଜୁଲ୍ ବା କ୍ୟାଲୋରି
2. $P_2 (V_2 - V_1)$ (b) $-P_2 (V_2 - V_1)$
3. (i) ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତନ (ii) ଅନୁତ୍କ୍ରମଣୀୟ (irreversible)
4. ଏକ ସମତାପୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସ୍ଥିର ତାପମାତ୍ରାରେ ସଂପାଦିତ ହୁଏ ଅଥଚ ଏକ ରୁଦ୍ଧତାପୀୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସ୍ଥିର ତାପରେ ସଂପାଦିତ ହୁଏ ।
5. ତ୍ରିତଃବିନ୍ଦୁରେ ଜଡ଼ରେ ତିନି ଅବସ୍ଥା ଯଥା ଘନ, ତରଳ ଓ ଗ୍ୟାସ୍‌ର ସହାବସ୍ଥାନ ସମ୍ଭବ ।

11.2. 1.(i) ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି (ii) ଉପରେ
2. ଏହା ଅନୁସାରେ ଏକ ତନ୍ତ୍ର ଗ୍ରହଣ କରୁଥିବା ତାପର ପରିମାଣ ତନ୍ତ୍ରର ଆନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତିର ପରିବର୍ତ୍ତନ ଓ ବାହ୍ୟ ଶକ୍ତିର ସମଷ୍ଟି ସହିତ ସମାନ ।

11.3 1. (i) ଭୁଲ୍ (ii) ଠିକ୍
2. (i) 2000 K (ii) 8583.1 K

ପାଠ୍ୟାନ୍ତ ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀର ଉତ୍ତର

9(a) 1500J (b) 1500J ; 10. 300K, 25%