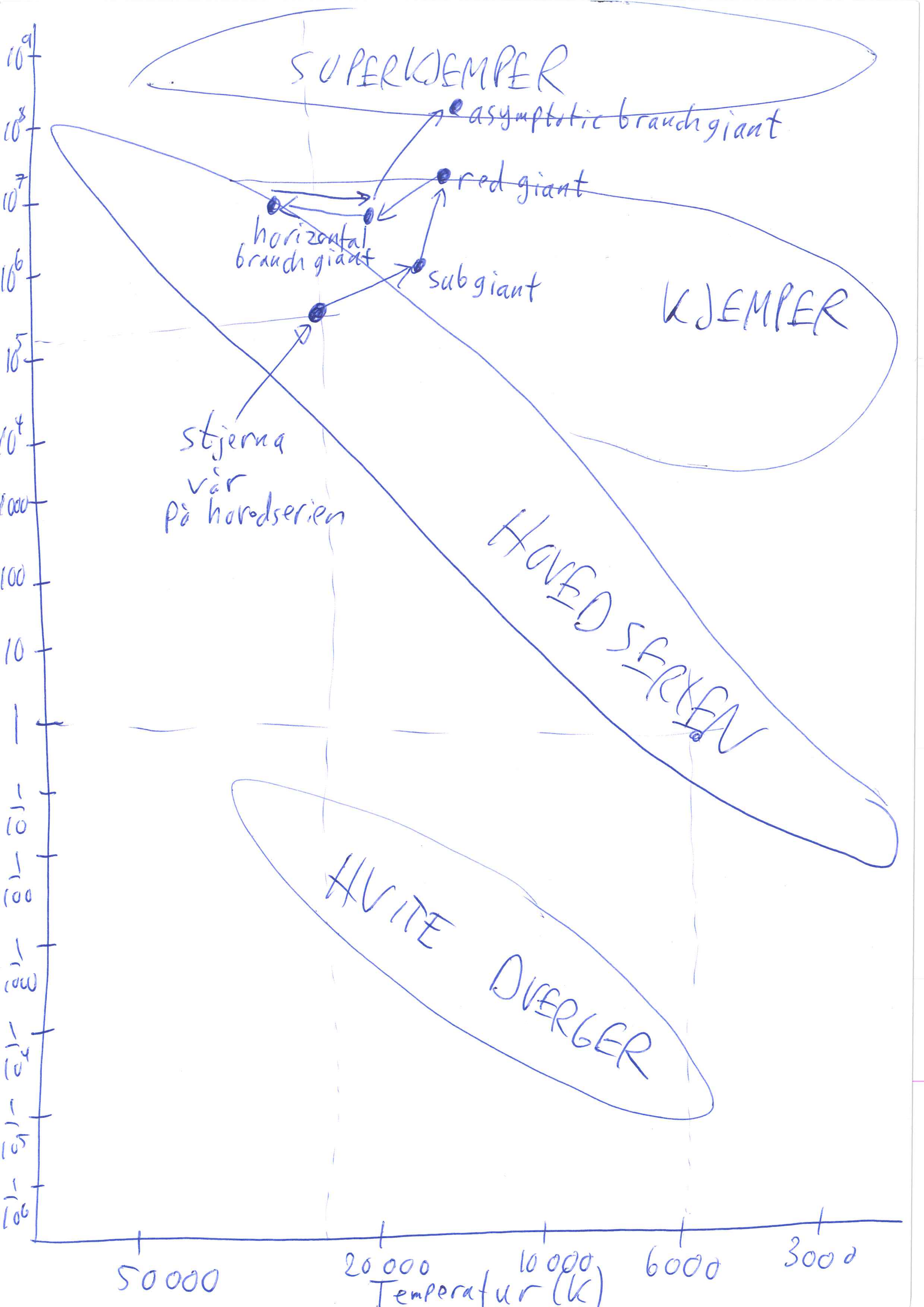


SUPERKJEMPER
asymptotic branch giant
red giant
horizontal branch giant
subgiant
KJEMPER
stjerna vår på hovedserien
HOVEDSERIEN
HVITE DVERGER
10^9
10^8
10^7
10^6
10^5
10^4
1000
100
10
1
$\frac{1}{10}$
$\frac{1}{100}$
$\frac{1}{1000}$
$\frac{1}{10^4}$
$\frac{1}{10^5}$
$\frac{1}{10^6}$
50000
20000
10000
6000
3000
Temperatur (K)

1b) $L \propto M^4$
$T_{eff} \propto \sqrt{M}$ } fra formelsamling

Sammenlikner med sola:

$$\frac{L}{L_\odot} = \frac{M^4}{M_\odot^4} \Rightarrow L = L_\odot \left(\frac{M}{M_\odot}\right)^4 = L_\odot 20^4 = \underline{16 \cdot 10^4 L_\odot}$$

$20 M_\odot$

$$\frac{T_{eff}}{T_{eff\odot}} = \sqrt{\frac{M}{M_\odot}} \Rightarrow T_{eff} = T_{eff\odot}\sqrt{20} = 6000K \cdot 4{,}5$$
$$\approx \underline{27000K}$$

1d)

$$L = \varepsilon_{CNO} \cdot 0{,}1\, M = \underline{\underline{6.1 \cdot 10^{31} W}}$$

$20 M_\odot$

$$8{,}24 \cdot 10^{-31} X_H \, X_{CNO} \, \rho \, T_6^{20}$$

$0{,}5$ $0{,}0003$ $37{,}8$

$$\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$$

$20 M_\odot$ $2 R_\odot$

2a) $x_A = 0$ $x_A' = 0$ $x_A'' = ?$

$t_A = 0$ $t_A' = 0$ $t_A'' = ?$

$x_B = 0$ $x_B' = -v_1 t_B'$ $x_B'' = 0$

$t_B = 30\text{ dager}$ $t_B' = ?$ $t_B'' = 0$

$x_C = v_1 t_C$ $x_C' = 0$ $x_C'' = ?$

$t_C = ?$ $t_C' = ?$ $t_C'' = 10\text{ dager}$

2b) $\cancel{t_B' = \sqrt{1-v_1^2}\, t_B \quad t_C' = \sqrt{1-v_1^2}\, t_C}$

Vi trenger altså x_C'' uttrykt ved t_C:

Bruker avstanden BC i umerket og $''$ system:

$$\Delta s_{BC}^{2} = \Delta s_{BC}''^{2}$$

$$\Delta t_{BC}^{2} - \Delta x_{BC}^{2} = \Delta t_{BC}''^{2} - \Delta x_{BC}''^{2}$$

$$(30\text{ dager} - t_C)^2 - v_1^2 t_C^2 = (10\text{ dager})^2 - x_C''^{2}$$

$$\Rightarrow \quad \underline{x_C'' = \sqrt{(10\text{ dager})^2 - (30\text{ dager} - t_C)^2 + v_1^2 t_C^2}}$$

$\underline{v_1 = 0{,}99}$

3a) $V_{skall,rad} = 5 \cdot 10^4\, km/s = 0{,}17$ (dim. løst)

$V_{skall,tang} = 10^5\, km/s = 0{,}33$

$V_{skall} = \sqrt{V_{skall,rad}^2 + V_{skall,tang}^2} = 0{,}37$

$r = 237\, km \cdot \frac{c^2}{G} = 3{,}2 \cdot 10^{32}\, kg = \underline{160 M_\odot}$

$$\frac{E}{m} = \left(1 - \frac{2M}{r}\right)\frac{dt}{d\tau} = \left(1 - \frac{2M}{r}\right)\frac{dt}{d\tau}\frac{dt_{skall}}{dt_{skall}} = \left(1 - \frac{2M}{r}\right)\frac{dt}{dt_{skall}} \cdot \frac{dt_{skall}}{d\tau}$$

Sammenheng mellom langt-vekk-tid og skalltid

$\Downarrow$

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{2M}{r}}}$$

Sammenheng mellom tidsintervall for fritt fallende obs. og skallobs. Lokale mål og korte tidromsavstand
$\Rightarrow$ kan bruke spes. rel.

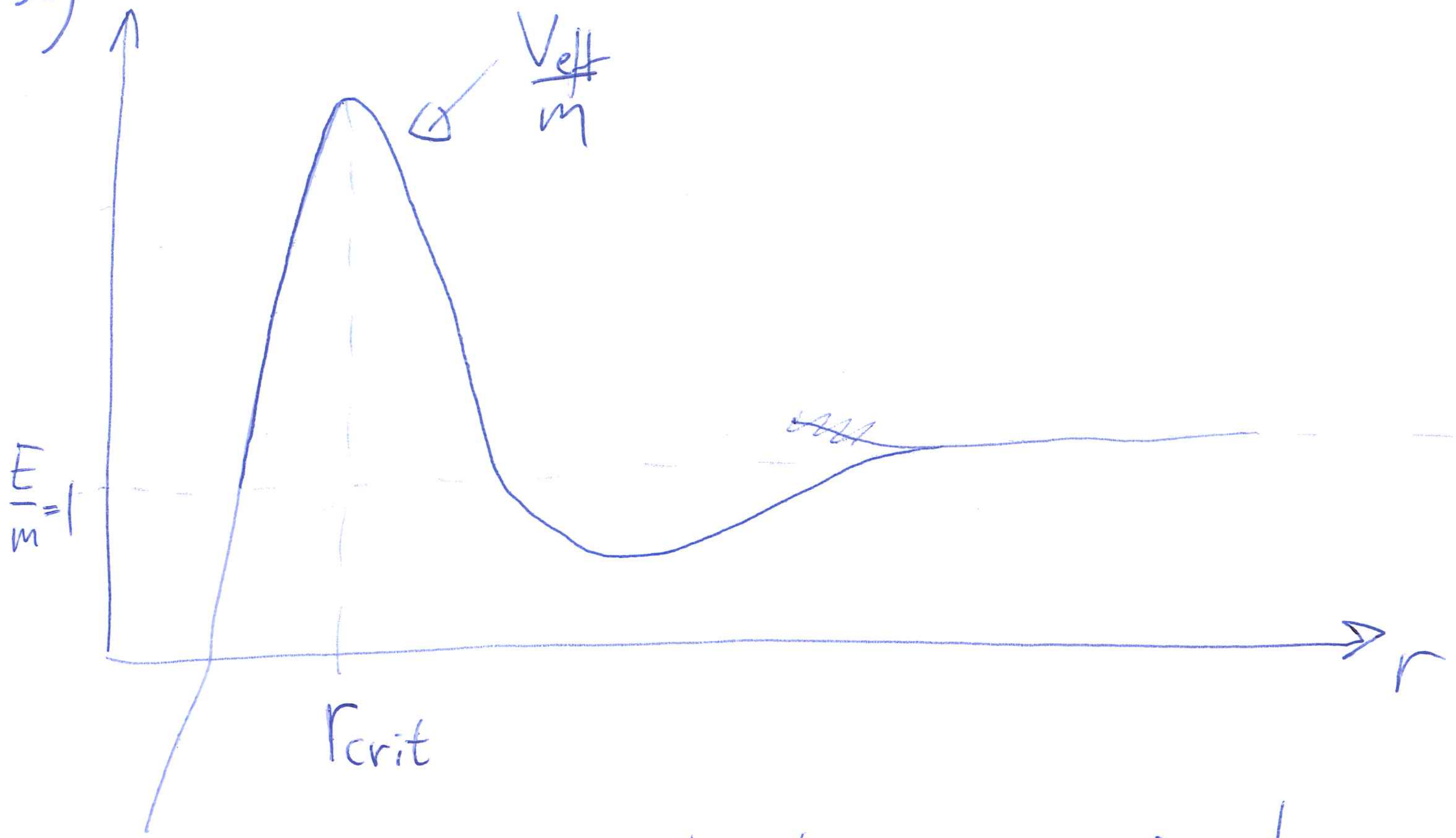
$\Rightarrow \frac{1}{\sqrt{1 - V_{skall}^2}}$

$$\Rightarrow \frac{E}{m} = \sqrt{1 - \frac{2M}{r}}\frac{1}{\sqrt{1 - V_{skall}^2}} = \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 4 M_\odot}{160 M_\odot}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - 0{,}37^2}} = \underline{\underline{1.05}}$$

Vet at dette er energi per masse.
Siden vi vet at $E = mc^2$ så vet vi at omregningsfaktoren fra kg til Joule må være c^2 [Kan også finne dette fra at Joule $= kg\frac{m^2}{s^2}$ for å gå fra kg til $kg\frac{m^2}{s^2}$ så må man gange med $\left(\frac{m}{s}\right)^2$, altså hastighet^2, det må da være c^2]

$\frac{E}{m} = 1.05\, c^2 = \underline{9.45 \cdot 10^{16}}$ Joule/kg

3b) Vet at effektivt potensial ser slik ut:



~~Hvis~~ Vi vet at romskipet er på vei utover og at $\frac{E}{m}>1$. Dermed har vi ikke banebevegelse. Hvis romskipet befinner seg på $r>r_{crit}$ så vil det unnslippe. Vi sjekker det først:

- For å beregne r_{crit} trenger vi $\frac{L}{m}$:

$$\frac{L}{m}=r^2\frac{d\varphi}{d\tau}=r\underbrace{\frac{r\,d\varphi}{dt_{skall}}}_{\text{tang. skallhast.}}\underbrace{\frac{dt_{skall}}{d\tau}}_{\frac{1}{\sqrt{1-v_{skall}^2}}}=r\,v_{tang}\,\gamma_{skall}\approx\underline{57M_{\odot}}$$

$$r_{crit}=\frac{(L/m)^2}{2M}\left(1-\sqrt{1-\frac{12M^2}{(L/m)^2}}\right)=\frac{(57M_{\odot})^2}{2\cdot 4M_{\odot}}\left(1-\sqrt{1-\frac{12\cdot(4M_{\odot})^2}{(57M_{\odot})^2}}\right)\approx\underline{12M_{\odot}}$$

Dermed $\underline{\overset{\approx 160M_{\odot}}{r}>\overset{\approx 12M_{\odot}}{r_{crit}}}$ $\underline{v_r>0}$ $\Rightarrow$ <u>unslipper</u>

4a) Vi trenger σ:

Har oppgitt $P(\vec{v}) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{3/2}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}\overbrace{(v_x^2+v_y^2+v_z^2)}^{v^2}}$

og har fra Maxwell-Boltzmann at:

$$n_{norm}(\vec{v}) = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$$

For at disse to skal være den samme fordelingen så må eksponentene være like:

$$-\frac{1}{2\sigma^2}v^2 = -\frac{mv^2}{2kT} \Rightarrow \underline{\sigma = \sqrt{\frac{kT}{m}}}$$

Kode:
```
n = rho/m/L^3          ; antall partikler i boksen
sigma = sqrt(kT/m)
pos = array(n,3)       ; posisjoner
vel = array(n,3)       ; hastigheter
for i=1,n
    for j=1,3
        pos(i,j) = L·uniform   ; uniformt mellom [0,L]
        vel(i,j) = gauss(0,sigma)
    endfor
endfor
```

4b)

```
totpx = 0   ; total bevegelsemengdeendring i x-retning
totpy = 0   ; ———— " ———— y —"—
FOR i = 1, n
    a = qE/m
    vel(i,0) = vel(i,0) + a dt
    s = pos(i,0)
    pos(i,0) = pos(i,0) + vel(i,0) dt
    IF (s > 0 AND pos(i,0) < 0) THEN
            totpx = totpx + m·vel(i,0)
    s = pos(i,1)
    pos(i,1) = pos(i,1) + vel(i,1)·dt
    IF (s > 0 AND pos(i,1) < 0) THEN
            totpy = totpy + m·vel(i,1)
    pos(i,2) = pos(i,2) + vel(i,2)·dt
ENDFOR
Fx = totpx/dt/n    ; kraft dp/dt i x-retning
Fy = totpy/dt/n    ; — " — y —"—
Px = Fx/L^2        ; trykk på x-vegg
Py = Fy/L^2        ; — " — y —"—
```