

Thermische Eigenschaften spezifische Wärme $c = \frac{1}{M} \frac{dH}{dT}$ harmonische Beschreibung $c_v = c_p$ $U = \sum_i n_i p_i u_i = \sum_i \frac{n_i u_i}{\exp(\frac{E_i}{kT}) - 1}$ W_i liegen sehr dicht

\Rightarrow quasi-kontinuierlich: $U_i = \int_{\text{Bereich}} \frac{1}{\exp(\frac{E_i}{kT}) - 1} Z_i(w) dw$ Zustandsdichte $Z_i(w) dw$: Anzahl der Zustände im Bereich $(w, w+dw)$ Volumen d. rez. Raum: $V_g = \frac{1}{m} \tilde{V}_g \cdot (G_2 \cdot \tilde{b}_3)$ $N = n_i \tilde{V}_g$

$V_g = \frac{1}{V} \left(\frac{\tilde{V}_g^3}{(a_1 \cdot (a_1 \cdot a_2))} \right) = \frac{1}{V} \frac{\tilde{V}_g^3}{V_g} = \frac{\tilde{V}_g^3}{V}$ Wirkungsgrad der Wärmeleitung durch den rez. Raum: $p_g = \frac{1}{V_g} \cdot \frac{V}{\tilde{b}_3^3} = Z(w) \cdot \frac{V}{\tilde{b}_3^3} \cdot \frac{dw}{Z(w) dw}$ Delye-Näherung erweit. basier. ($p=1$), isotropes Kont., lineare Dispersions-Gitterstruktur nur ber. durch $N_p = 3pN! \int Z(w) dw = 3N$ im Kristall Delye-gesche Grenzfrequenz w_0 . Anteil: $Z_L = \frac{V}{2\pi^2 \cdot w_0^2}, Z_T = \frac{V}{\pi^2 \cdot w_0^2} \cdot w^2 \Rightarrow Z(w) = \frac{V}{2\pi^2} \left(\frac{1}{w_0^2} + \frac{1}{4} \right) w^2 \cdot \omega^2$ Näherung

$W_D = V_s \left(\frac{c_{v2} N}{V} \right)^{1/3}$ mitl. Schall ges. $\frac{1}{V_g^3} = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{V_g^2} + \frac{1}{4} \right)$ (am beginn. zentriert) $\Rightarrow Z(w) = \frac{8N}{w_0^3} \omega^2 \Rightarrow U = \frac{8N}{w_0^3} \int_{\text{Bereich}} \frac{w^2 \cdot \omega^2}{\exp(\frac{E_i}{kT}) - 1} w^3 dw \Rightarrow C = \frac{1}{M} \frac{9N k_B}{w_0^3} \int_{\text{Bereich}} \frac{(w^2)^2}{\exp(\frac{E_i}{kT}) - 1} dw$ Delye-Näherung

Delye-Temperatur $\theta_D = \frac{w_0 \omega}{k_B}$ Für $T > \theta_D$: $M_C = V_{\text{B}} k_B T = 3R$ Petit Für $T \ll \theta_D$: $C = \frac{12\pi^2}{5} R \left(\frac{T}{\theta_D} \right)^3 = 23R \left(\frac{T}{\theta_D} \right)^3 \ll T^3$ \Rightarrow Ber. d. opt. Zweig unten.

Anharmonische Effekte: Drei-Phasen-Prozess: $\bar{q}_1 + \bar{q}_2 = \bar{q}_3 + \bar{G}$ falls \bar{q}_3 nicht mehr in der 1. BZ Normalprozess $|G|=0$ Umklappprozess $|G|>0$ (Umkehr d. austreibungen). Wärmeleitfähigkeit $\bar{J} = -\lambda \bar{\nabla} T$ Wärmeleitfähigkeit $\lambda = \frac{1}{3} p C_v V_s \Delta$ aus kin. Gaste. Schr. tiefe T: $\lambda(T) \propto \sqrt{C_v(T) \Delta T^3}$ für höhere T: Mittl. freie Wegl. $\Lambda(T) \propto \frac{1}{\sqrt{C_v(T)}}$ $\Delta(T) \propto \frac{1}{\sqrt{C_v(T)}}$ Wärmeleitfähigkeit $\lambda(T)$ hat Antile Ther. Wärmeleitfähigkeit $P = r \cdot v_o$ relative $\frac{P}{r} \propto T$ linearer Ausdehnungskoeffizient $\alpha = \frac{d}{dt} \left(\frac{P}{r} \right) = \frac{3k_B}{4\pi^2} \frac{1}{\theta_D^2} \propto T$

Freie Elektronen im Festkörper

Keine WW zw. Elektronen, keine WW zw. Elektronen und Atomrümpfen (kein Elektronengas) Drude-Modell: rein klassisches Gas (Maxwell-Boltzmann), Grundzustand ($T=0K$): N freie Elektronen ohne WW, $V=L^3$, unendlich hoher Potentialtopf $\Delta E^{2 \text{ Elekt.}}$ \Rightarrow ebene Elektronenwellen $\psi_k(r) = \frac{1}{\sqrt{V}} e^{i k \cdot r}$, Impuls $\vec{p} = \hbar \vec{k}$, Energie $E(k) = \frac{\hbar^2 k^2}{2m}$ Randbedingungen $\psi_k = \frac{2\pi}{L} \sin \frac{kx}{L}$ $k = x, y, z \Rightarrow E_n = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{2\pi^2}{L_x^2} n_x^2 + \frac{2\pi^2}{L_y^2} n_y^2 + \frac{2\pi^2}{L_z^2} n_z^2 \right)$ Minimales Vol. im \vec{k} -Raum 1-dim.: $\frac{2\pi}{L}$, 2-dim.: $\frac{2\pi^2}{L^2}$, 3-dim.: $\frac{(2\pi)^3}{L^3}$ Zustandsdichte für beide Spins: $Z(\vec{k}) = 2 \cdot \frac{V}{(2\pi)^3} \text{ im Energioraum } D(E) = \frac{V}{(2\pi)^3} \cdot \frac{1}{n^2} \text{ (in 3D)}$ in 2D $D(E) = \frac{1}{2} \left(\frac{2\pi^2}{L^2} \right) E^2$ in 1D $D(E) = \frac{1}{2} \left(\frac{2\pi^2}{L^2} \right) E^2$ Fermi-Energie E_F des höchsten bes. Zustandes (nur bei $T=0$ def.) Fermi-Kugel $r_{KF} = (3\pi^2 n)^{1/3} \cdot \Delta n^{-1/2}$, $n = \frac{N}{V}$ $\Rightarrow E_F = \frac{\hbar^2}{2m} \left(3\pi^2 n \right)^{3/2} \cdot \Delta n^{3/2}$ (rel. fr. Transportparametere) $\tau_F = \frac{eF}{v_F}, \lambda_F = \frac{eF}{k_B}, v_F = \frac{p_F}{m} = \frac{E_F}{m}$, $D(E_F) = \frac{3}{2} \frac{N}{E_F}$ Gesamtkinet. Energie $E_{\text{ges.}} = 2 \sum \frac{\hbar^2 k^2}{2m} \rightarrow \int_Z(k) E(k) dk = \frac{V}{(2\pi)^3} \cdot \frac{1}{n^2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{E_F^3}{m}$ Druck $P = -\frac{(\partial E_{\text{ges.}})}{\partial V} \Big|_{N=\text{const.}} = \frac{2}{3} \frac{E_{\text{ges.}}}{V} \cdot \frac{1}{n^2} \cdot \frac{1}{m}$ Kompressibilität $\frac{1}{n} = -V \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right) \Big|_{T=\text{const.}} = \frac{2}{3} \frac{E_{\text{ges.}}}{V} \cdot \frac{1}{n^2} \cdot \frac{1}{m} \cdot \frac{1}{E_F}$

Fermi-Dirac-Verteilung: $f(E) = \frac{1}{\exp(\frac{E-E_F}{kT}) + 1}$ chemisches Potential $\mu(T=0K) = E_F$ $N = \int D(E) f(E) dE$ Gibsche Gleichung $dU = Tds - pdV + \sum \text{mid. Sonnenfeld-Erhv.} \Rightarrow M(T) = E_F \left[1 - \frac{T}{T_F} \left(\frac{T}{T_F} \right)^2 \right]$ Wärmeleistung $\lambda_{\text{el.}} = \frac{1}{3} C_V V_F^2 T = \frac{\hbar^2}{3} \left(\frac{e^2}{c} \right)^2 \sigma T$ Elektronen-Gitter $\lambda_{\text{el.}} = \frac{1}{3} C_V V_F^2 T = \frac{\hbar^2}{3} \left(\frac{e^2}{c} \right)^2 \sigma T$ $\lambda_{\text{el.}} = \lambda_{\text{el.}} + \lambda_{\text{ph.}}$ $\lambda_{\text{el.}}$ dominiert! Relation $\lambda = L \cdot T$ Lorenz-Zahl $L = \frac{\hbar^2}{3} \left(\frac{e^2}{c} \right)^2 = \lambda_{\text{el.}} \cdot T \Big|_{T=200 \text{ K}} \text{ und. } T > 200 \text{ K}$

Elektrisches Feld: $\frac{dU}{dt} = -e \vec{E} - m \frac{\vec{v}_0}{T} \vec{D}$ Drittg. Gesetz. Stationärer Fall $\frac{dU}{dt} = 0 \Rightarrow \vec{v}_0 = -\frac{eT}{m} \vec{E}$ Beweg. Masse $M = \frac{eT}{m} = \frac{v_0}{E}$ Stromdichte $\vec{j} = -en \vec{v}_0 = ne \vec{p} = \frac{ne^2}{m} \vec{E}$ el. Leitfähigkeit $\tau = \text{const.} \Rightarrow \vec{j} = \sigma \vec{E}$ (Ohm'sches Gesetz)

Mathiessensche Regel: Strompr. Stromw. $\frac{I}{t} = \sum_i \frac{I}{t_i}$ Spezifischer Widerstand $\rho = R \cdot \frac{A}{L}$ Residual resistance ratio $R_{RR} = \frac{\rho}{\rho_0}$ im Drude-Modell alle Elektronen berücksigt, eigentlich nur die Elektronen

Summenfeld-Modell: $\vec{j} = -en \langle \vec{v} \rangle = -en \frac{1}{m} \langle \vec{k} \rangle$, korrekt: $\vec{j} = -\frac{1}{m} \sum \frac{\vec{k} \cdot \vec{v}}{n}$ im Ungleichgewicht: $j_x = \frac{e n t}{m} \vec{k}_x, \vec{k} = \langle \vec{k} \rangle - \langle \vec{k}^0 \rangle$ Veränd. der $\frac{dC(k)}{dt} = \frac{dC(k)}{dt} \Big|_{\text{Kraft}} + \frac{dC(k)}{dt} \Big|_{\text{Stran.}}$ stationärer $\frac{dC(k)}{dt} = 0$ $\frac{\partial C(k)}{\partial t} \Big|_{\text{Kraft}} = -\frac{\partial \vec{k}}{\partial t}, \frac{\partial C(k)}{\partial t} \Big|_{\text{Stran.}} = \frac{\partial \vec{k}}{\partial t}$ $\vec{k} = \vec{k}^0 + \vec{v}_0$ $\vec{v}_0 = \vec{v}_0^0 + \vec{v}_0^1$ $\vec{v}_0^1 = \vec{v}_0^0 + \vec{v}_0^2$ $\vec{v}_0^2 = \vec{v}_0^1 + \vec{v}_0^3$ $\vec{v}_0^3 = \vec{v}_0^2 + \vec{v}_0^4$ $\vec{v}_0^4 = \vec{v}_0^3 + \vec{v}_0^5$ $\vec{v}_0^5 = \vec{v}_0^4 + \vec{v}_0^6$ $\vec{v}_0^6 = \vec{v}_0^5 + \vec{v}_0^7$ $\vec{v}_0^7 = \vec{v}_0^6 + \vec{v}_0^8$ $\vec{v}_0^8 = \vec{v}_0^7 + \vec{v}_0^9$ $\vec{v}_0^9 = \vec{v}_0^8 + \vec{v}_0^{10}$ $\vec{v}_0^{10} = \vec{v}_0^9 + \vec{v}_0^{11}$ $\vec{v}_0^{11} = \vec{v}_0^{10} + \vec{v}_0^{12}$ $\vec{v}_0^{12} = \vec{v}_0^{11} + \vec{v}_0^{13}$ $\vec{v}_0^{13} = \vec{v}_0^{12} + \vec{v}_0^{14}$ $\vec{v}_0^{14} = \vec{v}_0^{13} + \vec{v}_0^{15}$ $\vec{v}_0^{15} = \vec{v}_0^{14} + \vec{v}_0^{16}$ $\vec{v}_0^{16} = \vec{v}_0^{15} + \vec{v}_0^{17}$ $\vec{v}_0^{17} = \vec{v}_0^{16} + \vec{v}_0^{18}$ $\vec{v}_0^{18} = \vec{v}_0^{17} + \vec{v}_0^{19}$ $\vec{v}_0^{19} = \vec{v}_0^{18} + \vec{v}_0^{20}$ $\vec{v}_0^{20} = \vec{v}_0^{19} + \vec{v}_0^{21}$ $\vec{v}_0^{21} = \vec{v}_0^{20} + \vec{v}_0^{22}$ $\vec{v}_0^{22} = \vec{v}_0^{21} + \vec{v}_0^{23}$ $\vec{v}_0^{23} = \vec{v}_0^{22} + \vec{v}_0^{24}$ $\vec{v}_0^{24} = \vec{v}_0^{23} + \vec{v}_0^{25}$ $\vec{v}_0^{25} = \vec{v}_0^{24} + \vec{v}_0^{26}$ $\vec{v}_0^{26} = \vec{v}_0^{25} + \vec{v}_0^{27}$ $\vec{v}_0^{27} = \vec{v}_0^{26} + \vec{v}_0^{28}$ $\vec{v}_0^{28} = \vec{v}_0^{27} + \vec{v}_0^{29}$ $\vec{v}_0^{29} = \vec{v}_0^{28} + \vec{v}_0^{30}$ $\vec{v}_0^{30} = \vec{v}_0^{29} + \vec{v}_0^{31}$ $\vec{v}_0^{31} = \vec{v}_0^{28} + \vec{v}_0^{32}$ $\vec{v}_0^{32} = \vec{v}_0^{31} + \vec{v}_0^{33}$ $\vec{v}_0^{33} = \vec{v}_0^{32} + \vec{v}_0^{34}$ $\vec{v}_0^{34} = \vec{v}_0^{33} + \vec{v}_0^{35}$ $\vec{v}_0^{35} = \vec{v}_0^{34} + \vec{v}_0^{36}$ $\vec{v}_0^{36} = \vec{v}_0^{35} + \vec{v}_0^{37}$ $\vec{v}_0^{37} = \vec{v}_0^{36} + \vec{v}_0^{38}$ $\vec{v}_0^{38} = \vec{v}_0^{37} + \vec{v}_0^{39}$ $\vec{v}_0^{39} = \vec{v}_0^{38} + \vec{v}_0^{40}$ $\vec{v}_0^{40} = \vec{v}_0^{39} + \vec{v}_0^{41}$ $\vec{v}_0^{41} = \vec{v}_0^{40} + \vec{v}_0^{42}$ $\vec{v}_0^{42} = \vec{v}_0^{41} + \vec{v}_0^{43}$ $\vec{v}_0^{43} = \vec{v}_0^{42} + \vec{v}_0^{44}$ $\vec{v}_0^{44} = \vec{v}_0^{43} + \vec{v}_0^{45}$ $\vec{v}_0^{45} = \vec{v}_0^{44} + \vec{v}_0^{46}$ $\vec{v}_0^{46} = \vec{v}_0^{45} + \vec{v}_0^{47}$ $\vec{v}_0^{47} = \vec{v}_0^{46} + \vec{v}_0^{48}$ $\vec{v}_0^{48} = \vec{v}_0^{47} + \vec{v}_0^{49}$ $\vec{v}_0^{49} = \vec{v}_0^{48} + \vec{v}_0^{50}$ $\vec{v}_0^{50} = \vec{v}_0^{49} + \vec{v}_0^{51}$ $\vec{v}_0^{51} = \vec{v}_0^{50} + \vec{v}_0^{52}$ $\vec{v}_0^{52} = \vec{v}_0^{51} + \vec{v}_0^{53}$ $\vec{v}_0^{53} = \vec{v}_0^{52} + \vec{v}_0^{54}$ $\vec{v}_0^{54} = \vec{v}_0^{53} + \vec{v}_0^{55}$ $\vec{v}_0^{55} = \vec{v}_0^{54} + \vec{v}_0^{56}$ $\vec{v}_0^{56} = \vec{v}_0^{55} + \vec{v}_0^{57}$ $\vec{v}_0^{57} = \vec{v}_0^{56} + \vec{v}_0^{58}$ $\vec{v}_0^{58} = \vec{v}_0^{57} + \vec{v}_0^{59}$ $\vec{v}_0^{59} = \vec{v}_0^{58} + \vec{v}_0^{60}$ $\vec{v}_0^{60} = \vec{v}_0^{59} + \vec{v}_0^{61}$ $\vec{v}_0^{61} = \vec{v}_0^{50} + \vec{v}_0^{62}$ $\vec{v}_0^{62} = \vec{v}_0^{51} + \vec{v}_0^{63}$ $\vec{v}_0^{63} = \vec{v}_0^{52} + \vec{v}_0^{64}$ $\vec{v}_0^{64} = \vec{v}_0^{53} + \vec{v}_0^{65}$ $\vec{v}_0^{65} = \vec{v}_0^{54} + \vec{v}_0^{66}$ $\vec{v}_0^{66} = \vec{v}_0^{55} + \vec{v}_0^{67}$ $\vec{v}_0^{67} = \vec{v}_0^{56} + \vec{v}_0^{68}$ $\vec{v}_0^{68} = \vec{v}_0^{57} + \vec{v}_0^{69}$ $\vec{v}_0^{69} = \vec{v}_0^{58} + \vec{v}_0^{70}$ $\vec{v}_0^{70} = \vec{v}_0^{59} + \vec{v}_0^{71}$ $\vec{v}_0^{71} = \vec{v}_0^{60} + \vec{v}_0^{72}$ $\vec{v}_0^{72} = \vec{v}_0^{61} + \vec{v}_0^{73}$ $\vec{v}_0^{73} = \vec{v}_0^{62} + \vec{v}_0^{74}$ $\vec{v}_0^{74} = \vec{v}_0^{63} + \vec{v}_0^{75}$ $\vec{v}_0^{75} = \vec{v}_0^{64} + \vec{v}_0^{76}$ $\vec{v}_0^{76} = \vec{v}_0^{65} + \vec{v}_0^{77}$ $\vec{v}_0^{77} = \vec{v}_0^{66} + \vec{v}_0^{78}$ $\vec{v}_0^{78} = \vec{v}_0^{67} + \vec{v}_0^{79}$ $\vec{v}_0^{79} = \vec{v}_0^{68} + \vec{v}_0^{80}$ $\vec{v}_0^{80} = \vec{v}_0^{69} + \vec{v}_0^{81}$ $\vec{v}_0^{81} = \vec{v}_0^{70} + \vec{v}_0^{82}$ $\vec{v}_0^{82} = \vec{v}_0^{71} + \vec{v}_0^{83}$ $\vec{v}_0^{83} = \vec{v}_0^{72} + \vec{v}_0^{84}$ $\vec{v}_0^{84} = \vec{v}_0^{73} + \vec{v}_0^{85}$ $\vec{v}_0^{85} = \vec{v}_0^{74} + \vec{v}_0^{86}$ $\vec{v}_0^{86} = \vec{v}_0^{75} + \vec{v}_0^{87}$ $\vec{v}_0^{87} = \vec{v}_0^{76} + \vec{v}_0^{88}$ $\vec{v}_0^{88} = \vec{v}_0^{77} + \vec{v}_0^{89}$ $\vec{v}_0^{89} = \vec{v}_0^{78} + \vec{v}_0^{90}$ $\vec{v}_0^{90} = \vec{v}_0^{79} + \vec{v}_0^{91}$ $\vec{v}_0^{91} = \vec{v}_0^{80} + \vec{v}_0^{92}$ $\vec{v}_0^{92} = \vec{v}_0^{81} + \vec{v}_0^{93}$ $\vec{v}_0^{93} = \vec{v}_0^{82} + \vec{v}_0^{94}$ $\vec{v}_0^{94} = \vec{v}_0^{83} + \vec{v}_0^{95}$ $\vec{v}_0^{95} = \vec{v}_0^{84} + \vec{v}_0^{96}$ $\vec{v}_0^{96} = \vec{v}_0^{85} + \vec{v}_0^{97}$ $\vec{v}_0^{97} = \vec{v}_0^{86} + \vec{v}_0^{98}$ $\vec{v}_0^{98} = \vec{v}_0^{87} + \vec{v}_0^{99}$ $\vec{v}_0^{99} = \vec{v}_0^{88} + \vec{v}_0^{100}$ $\vec{v}_0^{100} = \vec{v}_0^{89} + \vec{v}_0^{101}$ $\vec{v}_0^{101} = \vec{v}_0^{90} + \vec{v}_0^{102}$ $\vec{v}_0^{102} = \vec{v}_0^{91} + \vec{v}_0^{103}$ $\vec{v}_0^{103} = \vec{v}_0^{92} + \vec{v}_0^{104}$ $\vec{v}_0^{104} = \vec{v}_0^{93} + \vec{v}_0^{105}$ $\vec{v}_0^{105} = \vec{v}_0^{94} + \vec{v}_0^{106}$ $\vec{v}_0^{106} = \vec{v}_0^{95} + \vec{v}_0^{107}$ $\vec{v}_0^{107} = \vec{v}_0^{96} + \vec{v}_0^{108}$ $\vec{v}_0^{108} = \vec{v}_0^{97} + \vec{v}_0^{109}$ $\vec{v}_0^{109} = \vec{v}_0^{98} + \vec{v}_0^{110}$ $\vec{v}_0^{110} = \vec{v}_0^{99} + \vec{v}_0^{111}$ $\vec{v}_0^{111} = \vec{v}_0^{100} + \vec{v}_0^{112}$ $\vec{v}_0^{112} = \vec{v}_0^{101} + \vec{v}_0^{113}$ $\vec{v}_0^{113} = \vec{v}_0^{102} + \vec{v}_0^{114}$ $\vec{v}_0^{114} = \vec{v}_0^{103} + \vec{v}_0^{115}$ $\vec{v}_0^{115} = \vec{v}_0^{104} + \vec{v}_0^{116}$ $\vec{v}_0^{116} = \vec{v}_0^{105} + \vec{v}_0^{117}$ $\vec{v}_0^{117} = \vec{v}_0^{106} + \vec{v}_0^{118}$ $\vec{v}_0^{118} = \vec{v}_0^{107} + \vec{v}_0^{119}$ $\vec{v}_0^{119} = \vec{v}_0^{108} + \vec{v}_0^{120}$ $\vec{v}_0^{120} = \vec{v}_0^{109} + \vec{v}_0^{121}$ $\vec{v}_0^{121} = \vec{v}_0^{110} + \vec{v}_0^{122}$ $\vec{v}_0^{122} = \vec{v}_0^{111} + \vec{v}_0^{123}$ $\vec{v}_0^{123} = \vec{v}_0^{112} + \vec{v}_0^{124}$ $\vec{v}_0^{124} = \vec{v}_0^{113} + \vec{v}_0^{125}$ $\vec{v}_0^{125} = \vec{v}_0^{114} + \vec{v}_0^{126}$ $\vec{v}_0^{126} = \vec{v}_0^{115} + \vec{v}_0^{127}$ $\vec{v}_0^{127} = \vec{v}_0^{116} + \vec{v}_0^{128}$ $\vec{v}_0^{128} = \vec{v}_0^{117} + \vec{v}_0^{129}$ $\vec{v}_0^{129} = \vec{v}_0^{118} + \vec{v}_0^{130}$ $\vec{v}_0^{130} = \vec{v}_0^{119} + \vec{v}_0^{131}$ $\vec{v}_0^{131} = \vec{v}_0^{120} + \vec{v}_0^{132}$ $\vec{v}_0^{132} = \vec{v}_0^{121} + \vec{v}_0^{133}$ $\vec{v}_0^{133} = \vec{v}_0^{122} + \vec{v}_0^{134}$ $\vec{v}_0^{134} = \vec{v}_0^{123} + \vec{v}_0^{135}$ $\vec{v}_0^{135} = \vec{v}_0^{124} + \vec{v}_0^{136}$ $\vec{v}_0^{136} = \vec{v}_0^{125} + \vec{v}_0^{137}$ $\vec{v}_0^{137} = \vec{v}_0^{126} + \vec{v}_0^{138}$ $\vec{v}_0^{138} = \vec{v}_0^{127} + \vec{v}_0^{139}$ $\vec{v}_0^{139} = \vec{v}_0^{128} + \vec{v}_0^{140}$ $\vec{v}_0^{140} = \vec{v}_0^{129} + \vec{v}_0^{141}$ $\vec{v}_0^{141} = \vec{v}_0^{130} + \vec{v}_0^{142}$ $\vec{v}_0^{142} = \vec{v}_0^{131} + \vec{v}_0^{143}$ $\vec{v}_0^{143} = \vec{v}_0^{132} + \vec{v}_0^{144}$ $\vec{v}_0^{144} = \vec{v}_0^{133} + \vec{v}_0^{145}$ $\vec{v}_0^{145} = \vec{v}_0^{134} + \vec{v}_0^{146}$ $\vec{v}_0^{146} = \vec{v}_0^{135} + \vec{v}_0^{147}$ $\vec{v}_0^{147} = \vec{v}_0^{136} + \vec{v}_0^{148}$ $\vec{v}_0^{148} = \vec{v}_0^{137} + \vec{v}_0^{149}$ $\vec{v}_0^{149} = \vec{v}_0^{138} + \vec{v}_0^{150}$ $\vec{v}_0^{150} = \vec{v}_0^{139} + \vec{v}_0^{151}$ $\vec{v}_0^{151} = \vec{v}_0^{140} + \vec{v}_0^{152}$ $\vec{v}_0^{152} = \vec{v}_0^{141} + \vec{v}_0^{153}$ $\vec{v}_0^{153} = \vec{v}_0^{142} + \vec{v}_0^{154}$ $\vec{v}_0^{154} = \vec{v}_0^{143} + \vec{v}_0^{155}$ $\vec{v}_0^{155} = \vec{v}_0^{144} + \vec{v}_0^{156}$ $\vec{v}_0^{156} = \vec{v}_0^{145} + \vec{v}_0^{157}$ $\vec{v}_0^{157} = \vec{v}_0^{146} + \vec{v}_0^{158}$ $\vec{v}_0^{158} = \vec{v}_0^{147} + \vec{v}_0^{159}$ $\vec{v}_0^{159} = \vec{v}_0^{148} + \vec{v}_0^{160}$ $\vec{v}_0^{160} = \vec{v}_0^{149} + \vec{v}_0^{161}$ $\vec{v}_0^{161} = \vec{v}_0^{150} + \vec{v}_0^{162}$ $\vec{v}_0^{162} = \vec{v}_0^{151} + \vec{v}_0^{163}$ $\vec{v}_0^{163} = \vec{v}_0^{152} + \vec{v}_0^{164}$ $\vec{v}_0^{164} = \vec{v}_0^{153} + \vec{v}_0^{165}$ $\vec{v}_0^{165} = \vec{v}_0^{154} + \vec{v}_0^{166}$ $\vec{v}_0^{166} = \vec{v}_0^{155} + \vec{v}_0^{167}$ $\vec{v}_0^{167} = \vec{v}_0^{156} + \vec{v}_0^{168}$ $\vec{v}_0^{168} = \vec{v}_0^{157} + \vec{v}_0^{169}$ $\vec{v}_0^{169} = \vec{v}_0^{158} + \vec{v}_0^{170}$ $\vec{v}_0^{170} = \vec{v}_0^{159} + \vec{v}_0^{171}$ $\vec{v}_0^{171} = \vec{v}_0^{160} + \vec{v}_0^{172}$ $\vec{v}_0^{172} = \vec{v}_0^{161} + \vec{v}_0^{173}$ $\vec{v}_0^{173} = \vec{v}_0^{162} + \vec{v}_0^{174}$ $\vec{v}_0^{174} = \vec{v}_0^{163} + \vec{v}_0^{175}$ $\vec{v}_0^{175} = \vec{v}_0^{164} + \vec{v}_0^{176}$ $\vec{v}_0^{176} = \vec{v}_0^{165} + \vec{v}_0^{177}$ $\vec{v}_0^{177} = \vec{v}_0^{166} + \vec{v}_0^{178}$ $\vec{v}_0^{178} = \vec{v}_0^{167} + \vec{v}_0^{179}$ $\vec{v}_0^{179} = \vec{v}_0^{168} + \vec{v}_0^{180}$ $\vec{v}_0^{180} = \vec{v}_0^{169} + \vec{v}_0^{181}$ $\vec{v}_0^{181} = \vec{v}_0^{170} + \vec{v}_0^{182}$ $\vec{v}_0^{182} = \vec{v}_0^{171} + \vec{v}_0^{183}$ $\vec{v}_0^{183} = \vec{v}_0^{172} + \vec{v}_0^{184}$ $\vec{v}_0^{184} = \vec{v}_0^{173} + \vec{v}_0^{185}$ $\vec{v}_0^{185} = \vec{v}_0^{174} + \vec{v}_0^{186}$ $\vec{v}_0^{186} = \vec{v}_0^{175} + \vec{v}_0^{187}$ $\vec{v}_0^{187} = \vec{v}_0^{176} + \vec{v}_0^{188}$ $\vec{v}_0^{188} = \vec{v}_0^{177} + \vec{v}_0^{189}$ $\vec{v}_0^{189} = \vec{v}_0^{178} + \vec{v}_0^{190}$ $\vec{v}_0^{190} = \vec{v}_0^{179} + \vec{v}_0^{191}$ $\vec{v}_0^{191} = \vec{v}_0^{180} + \vec{v}_0^{192}$ $\vec{v}_0^{192} = \vec{v}_0^{181} + \vec{v}_0^{193}$ $\vec{v}_0^{193} = \vec{v}_0^{182} + \vec{v}_0^{194}$ $\vec{v}_0^{194} = \vec{v}_0^{183} + \vec{v}_0^{195}$ $\vec{v}_0^{195} = \vec{v}_0^{184} + \vec{v}_0^{196}$ $\vec{v}_0^{196} = \vec{v}_0^{185} + \vec{v}_0^{197}$ $\vec{v}_0^{197} = \vec{v}_0^{186} + \vec{v}_0^{198}$ $\vec{v}_0^{198} = \vec{v}_0^{187} + \vec{v}_0^{199}$ $\vec{v}_0^{199} = \vec$